る[26,63,106,107]。

花粉発育各期のどのような異常が堆肥区において抑制されるかを今後さらに追求することによって，堆肥区における穂孕期耐冷性の生理的機構を解明する手がかりが得られるものと思われる。

第3節 穂孕期の根と地上部の生育に対する効果

堆肥区における穂孕期の生育状態の変化を形態と機能の面から明らかにしょうとした。

材料および方法

第1節の各年の材料について，穂孕期における堆肥区および無堆肥区の生育を比較した。

1976年は，草丈ならびに株当たり茎数を比較した。いずれも10株を調査し，平均値で示した。

1977年は2株の根部を土塊とともに縦15cm，横25cm，深さ20cmの大きさに堀り取り，よく洗浄した後，上節位根（上位4節）と下節位根（5節以下）に分け，それぞれについて生体重ならびにα—ナフチルアミン酸化力[105]を測定した。また，別に2株を抜き取り，穂孕期葉耳間長が−7.0〜−1.1cmの1次分げつにおける稈と葉鞘を込みにしたもの（稈＋葉鞘）の炭水化物含有率を測定した。炭水化物含有率は，乾燥した試料200mgをとり，村山ら[51]の方法で粗澱粉および全糖を分別定量し，乾物当たりパーセントで示した。

1978年は，穂孕期葉身N％がほぼ等しい材料について，前年と同じ方法で2株の根を採取して上節位根および下節位根に分け，それぞれについて1次根の根色を比較した。根色は，白色根，褐色根，黒色根に大別し，それぞれの株当たり根数を求めた。

1979年は，穂孕期葉身N％がほぼ等しい材料について切断葉身の葉緑素分解を比較した。すなわち，穂孕期の葉耳間長が−1.0〜1.0cmの1次分げつについて上位3葉身の中央部から生重100mgずつを秤量し，20mlの80％熱エタノールで葉緑素を抽出して光電比色計で吸光度（660mμ）を求めた。それと同時に，各葉身の中央部2cmを切断し，各区15枚ずつを水を入れたシャーレに浮べ，30℃・暗所に48時間置いた後，上記の方法で葉緑素含量を測定した。

1981年は，葉色ならびに土層内の根の分布を比較した。葉色は，穂孕期葉耳間長が−1.0〜1.0cmの1次分げつについて止葉10枚の葉色を色票（富士カラースケール）を用いて測定し，平均値で示した。根の調査は，穂孕期葉身N％がほぼ等しい材料について以下の要領で行った。すなわち，改良モノリス（5cm×40cm×40cm）を用いて2株の根を堀り取り，ていねいに水洗して写真撮影した。次いで，その材料を地際より5cm間隔に切断し，各層ごとに1次根直径，2次根形成密度ならびに

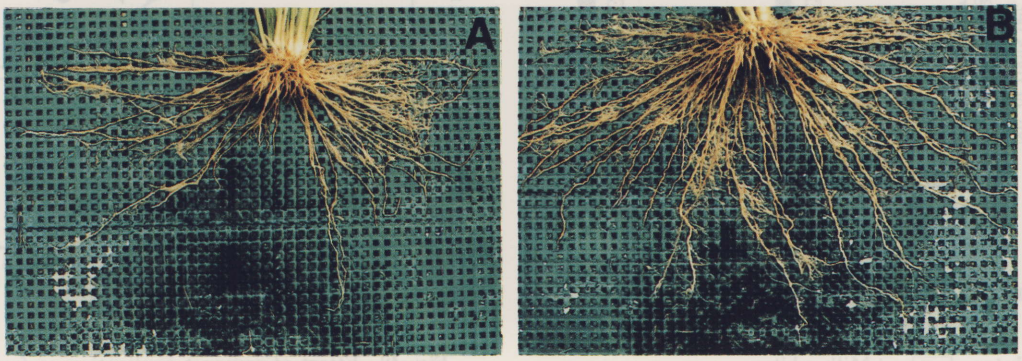

Fig. 46 Root system at the booting stage in control and compost plots (1981).

Notes A：Control plot. B：Compost plot. ├──┤：10 cm

Table 12. Effect of compost application on the growth of root at the booting stage (1981).

Depth of soil (cm)	Diameter of primary roots (mm)		Density of secondary roots* (No./cm)		Fresh weight per hill (g)	
	Control plot	Compost plot	Control plot	Compost plot	Control plot	Compost plot
0 ~ 5	0.81	0.84	13.3	17.9	3.34	3.93
5 ~ 10	0.91	1.03	12.7	18.4	1.36	1.92
10 ~ 15	0.88	0.93	14.5	22.3	0.46	1.08
15 ~ 20	0.80	1.11	11.3	22.7	0.11	0.38
20 ~ 25	0.75	0.71	8.0	17.8	0.04	0.17

Note ＊: No. of secondary roots per 1 cm in the center of primary root longer than 5 cm.

生体重を測定した。1次根直径，2次根形成密度の測定は，拡大投影器を用いて長さ5cm以上の根の中央部について行った。

結　果

まず，根についてみると，第46図に示すように堆肥区の根は無堆肥のものに比べてより広く，より深層に分布していた。この材料の各層における1次根真径，2次根形成密度および生体重を示したのが第12表である。いずれも堆肥区において大であり，その差は表層よりも下層において明瞭であった。第47図は1次根の根色を比較したものである。堆肥区は無堆肥区に比べて上節位根，下節位根とも白色根，褐色根の根数が多く，黒色根の数は逆に少なかった。また，第48図には根重を示したが，葉身N%が同一の場合にはいずれも堆肥区において高かった。

根の α－ナフチルアミン酸化力は，第49図に示したように上節位根，下節位根とも葉身N%が同一の場合は，堆肥区において高かった。第50図に

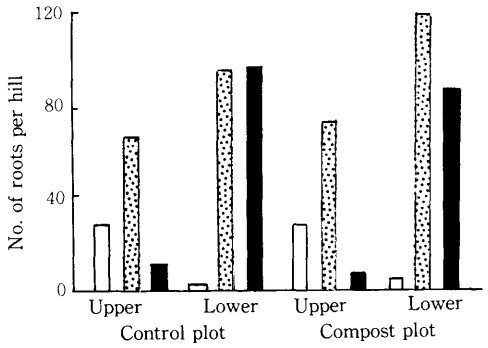

Fig. 47 Effect of compost application on root color at the booting stage (1978).

Notes □ : Milk white.
□ : Yellow or light brown.
■ : Black.
Upper : Roots from upper 4 nodes.
Lower : Roots from 5th node and below.

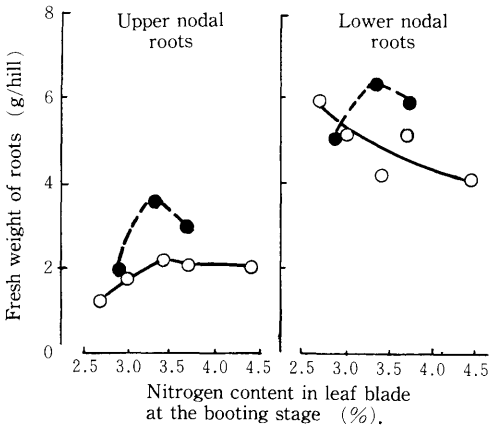

Fig. 48 Effect of compost application on fresh weight of roots (1977).

Notes ○ : Control plot . ● : Compost plot .

切断葉身の30℃・暗所における葉緑素分解を示した。この実験では，上から3枚目の葉身については葉緑素の分解に大差は認められなかったが，1，2枚目の葉身については堆肥区において葉緑素の分解が抑制された。

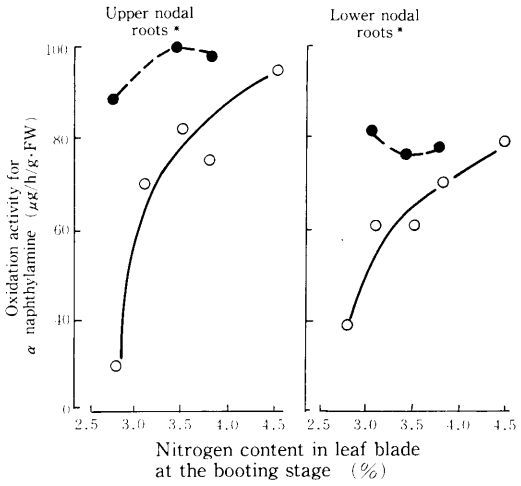

Fig. 49 Effect of compost application on root activity at the booting stage (1977).

Notes ○ : Control plot. ● : Compost plot.
* : Refer to Fig.47.

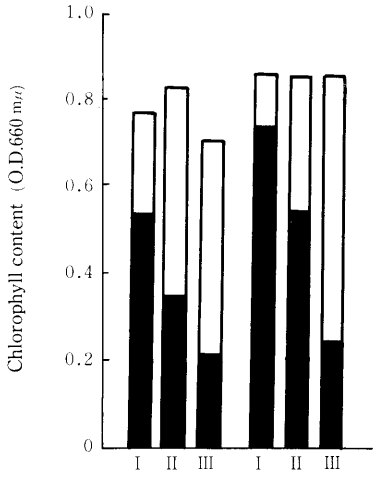

Fig. 50 Effect of compost application on chlorophyll decomposition in leaf blade at the booting stage (1979).

Notes I, II and III mean flag leaf, 2nd leaf and 3rd leaf from the top, respectively.
□ : Just after the excision.
■ : 48 hours after the sampling.
(Fifteen pieces of leaf blades, each 2 cm in length, were placed in Petri dish containing water and kept at 30℃ in the dark.)

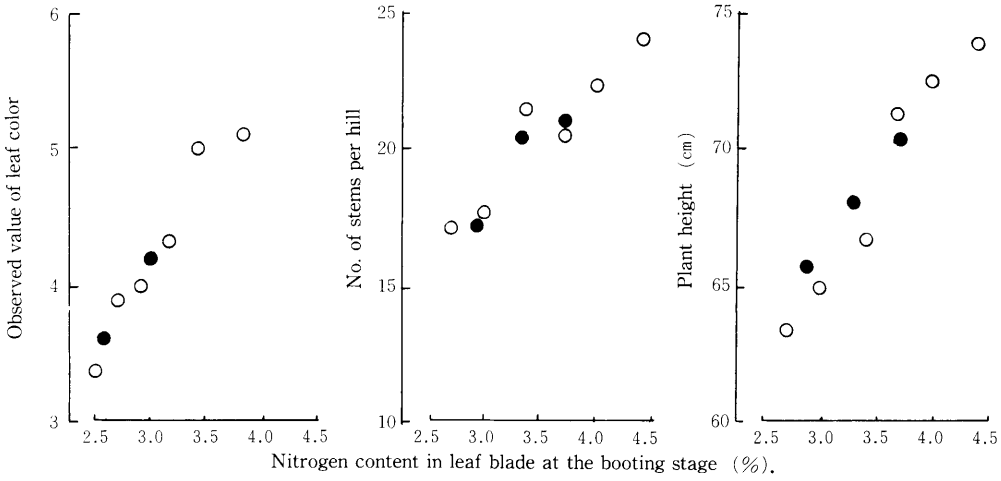

Fig. 51 Effect of compost application on leaf color, number of stems and plant height at the booting stage (1976, 1981)

Notes ○ : Control plot, ● : Compost plot.

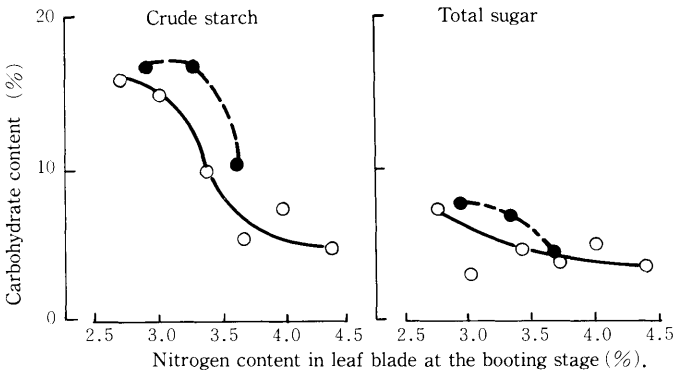

Fig. 52 Effect of compost application on carbohydrate content in the mixture of leaf sheath and culm at the booting stage(1977).

Notes ○ : Control plot, ● : Compost plot.

一方，地上部については，第51図に葉色，草丈，茎数の変化を示した。いずれの形質についても，葉身N%が等しい場合には，堆肥区と無堆肥区とはほぼ同じ値を示した。第52図は「稈＋葉鞘」の炭水化物含有率を示したものである。両区とも葉身N%が高いほど粗澱粉および全糖含有率は低下する傾向を示したが，葉身N%が同一の場合には，いずれも堆肥区において高かった。

考　察

堆肥施用が水稲の生育に与える影響については，とくに，出穂期から登熟期の根について詳しく研究されている。川田[31]，川田・副島[32]は堆肥施用水田は無堆肥水田に比べて，土壌表層に分布する1次根数が多く，分枝根の出現密度も高いこと，さらに〝ししの尾状根〟の形成が少ないことなどを指摘している。また，鎌田・岡田[29]は堆肥施用水田において，上節位根，中節位根ともに白く太いものが多いことを観察している。

本研究においても，穂孕期葉身N%がほぼ等しい材料について比較し，いくつかの相違点を認めた。堆肥区の根は無堆肥区のものに比べて，より広く，より深層に分布している。また，1次根は太く，より多くの2次根を形成し，上節位根，下節位根とも白色根，褐色根の根数が多く，黒色根は逆に少ない。根重は上節位根，下節位根とも明らかに重い。

このような根の形態の相違には，当然，根の機能の違いがともなうものである。すなわち，第49図に示すように，根のα—ナフチルアミン酸化力は上節位根，下節位根とも堆肥区において高い。下葉の枯れ上がりについては，穂孕期にはまだ登熟期にみられるほどの明瞭な区間差は観察されなかったが，第50図に示すように切断葉身の高温・暗所における葉緑素の分解には明らかに差が認められ，α—ナフチルアミン酸化力の高い堆肥区で葉緑素の分解が抑制されている。登熟期間中，根の活力を高く維持する品種は葉緑素の減退が少なく，切断葉身の葉緑素分解が遅いという李・太田[64]の指摘とこれは一致している。このように堆肥施用によって根の生育が促進され，活力が高められることに関して，中山・太田[52,53]は堆肥は著しく多量のエチレンを生成することを示し，これが根の生育に直接影響している可能性があることを示唆している。

葉色，草丈，茎数については，葉身N%が等しい場合には，堆肥区も無堆肥区もほぼ同じ値を示す。葉色，草丈，茎数は穂孕期の生育状態を知る上で重要な目安となる形質であるが，同一品種では，これらはもっぱら稲体の窒素含有率に支配さ

れ，堆肥施用独自の効果は考えられない。穂孕期不稔に対する抵抗性を高めるには，窒素を減肥したり分施することによって穂孕期葉身N％を低下させ，「稈＋葉鞘」の炭水化物含有率を高める方法がとられるが[21,41]，堆肥を施用した場合には，第52図に示すように穂孕期葉身N％が同一でも炭水化物含有率が高く，したがってC／N率も高く，稔実歩合の低下が少ない。

これを要するに，穂孕期の生育に対する堆肥施用の効果は，根の形態と機能ならびに「稈＋葉鞘」の炭水化物含有率によく現われている。堆肥施用によって，なぜ根の生育が促進され活力が高められるかはまだ十分明らかでないが，こうした事実は，堆肥連用水田に栽培された水稲の穂孕期耐冷性が根の健全性と関連していることを示唆するものである。

第4節　根の形態・機能と稔実歩合との関係

穂孕期不稔が日射[84]や気温の前歴[25]ならびに日較差[38,81]など地上部環境の影響を受けることはよく知られているが，栽培上重視しなければならない根部環境と穂孕期不稔との関係についてはほとんど研究されていない[2,5]。

本節では，穂孕期の根の形態・機能と稔実歩合との関連性を異なる根部環境によって検討しようとした。

材料および方法

1979年にイシカリを供試し，2つの実験によって根の形態・機能と穂孕期不稔との関係を検した。

実験Ⅰは，1/2,000a および1/10,000a のワグネルポットを用いて作土量を変えて材料を養成した。いずれも上川農業試験場の苗代土壌を充塡し，基肥として窒素（硫安），燐酸（過燐酸石灰），加里（塩化加里）をポット当たり成分量でそれぞれ0.5gずつ施用した。6月8日に生育のそろった3葉苗を1株2個体，ポット当たり4株ずつ移植した。移植してから穂孕期まで，両区の葉身窒素含有率および茎数がほぼ等しく推移するように葉色を見ながら硫安水を適時追肥した。冷温処理以外の時期は戸外で栽培したが，栽培期間中ポットの大小によって土壌温度が変化しないようにポットを水槽中に置いた。水深はポットの地表面から水槽水面までを約3cmに調節した。冷温処理は大部分の主稈の葉耳間長が－7.0～－3.0cmに達した頃，人工気象室を用いて15℃・6日間行った。

実験Ⅱでは1/5,000a のブリキ製ポットを用いて材料を養成し，穂孕期に土壌温度処理を行った。土壌，基肥量，栽植密度，移植日などは実験Ⅰと同一である。窒素追肥については，穎花分化期頃に硫安を用いてポット当たり成分量0.5gを施用した。土壌温度処理は穂孕期冷温処理と同時に行った。すなわち，恒温水槽が取り付けられた人工気象室を用い，気温を15℃，土壌温度を15℃および25℃に6日間別々に処理した。なお，25℃区はこの期間，水面に断熱材を置き，気温と土壌温度が相互に影響を受けないようにした。それ以外の時期は戸外で栽培した。

実験Ⅰ，Ⅱとも1区6ポットを用い，冷温処理開始日にすべての主稈について葉耳間長を測定した。実験Ⅰでは冷温処理開始時に，実験Ⅱでは冷

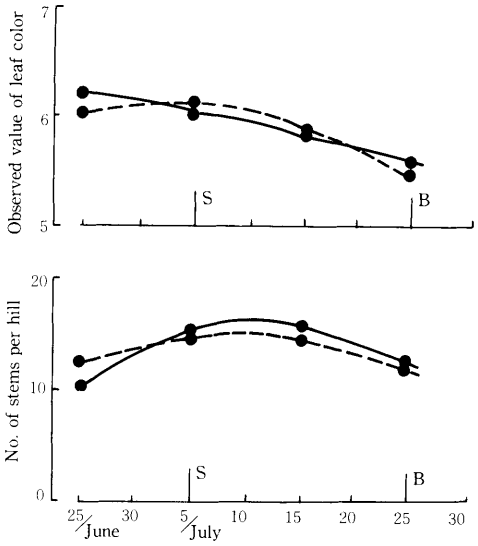

Fig. 53 Changes in leaf color and number of stems in relation to the growth of rice plants.

Notes ——— : 1/2,000a pot , ---- : 1/10,000a pot .
S : Spikelet differentiation stage.
B : Booting stage.

温処理終了時にそれぞれ2ポットの稲について根の生体重，α－ナフチルアミン酸化力[105]，ならびに切断葉身の葉緑素分解を比較した。切断葉身の葉緑素分解は，主稈の上位3葉身について前節と同じ方法で測定した。成熟期に残りの4ポットの主稈（実験Ⅰでは処理開始時の葉耳間長が－7.0～－5.1cm，実験Ⅱでは－5.0～－3.1cm）について1穂籾数ならびに稔実歩合を調査した。

結　果

第53図に実験Ⅰにおける分げつ期から穂孕期までの葉色ならびに茎数の推移を示した。この図で明らかなように，葉色ならびに茎数の推移曲線にはほとんど区間差は認められなかった。

第54図には切断葉身の葉緑素分解を示した。切断葉身の葉緑素分解は，1/10,000a ポット区よりも

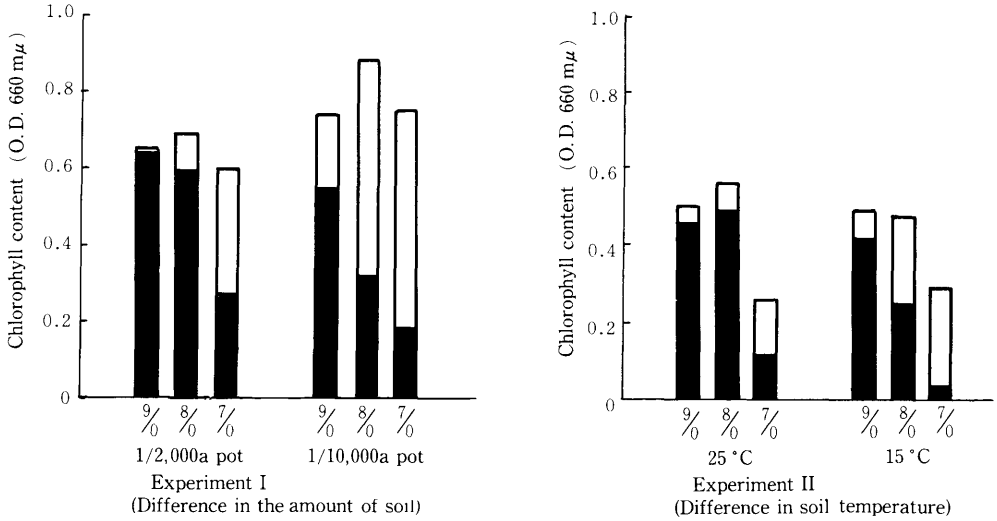

Fig. 54 Effect of root emvironments on chlorophyll decomposition in leaf blade at the booting stage.

Notes □ : Just after the excision.
■ : 43 hours after the sampling (30℃ in the dark)
7/0, 8/0, and 9/0 mean 7th, 8th and 9th leaf blade on the main stem, respectively.

Table 13. Effect of root growing environments on the weight of roots and root activity at the booting stage and percentage of fertility.

Root growing condition		Fresh weight of root (g/hill)	Oxidation activity for α-naphthylamine (μg/h/hill·FW) Upper nodal roots*	lower nodal roots*	No. of spikelets per panicle	Fertility (%)
Experiment I (Difference in amount of soil)	1/10,000a pot	11.3	270	523	48.1	19.0
	1/2,000a pot	15.6	375	796	50.9	46.6
Experiment II (Difference in soil temperature)	15℃	12.6	300	710	64.5	21.2
	25℃	13.2	304	742	63.8	40.8

Note　*: Refer to Fig. 47.

1/2,000a ポット区で，15℃よりも25℃区においてそれぞれ抑制された。第13表は穂孕期の根重，根の活力，1穂籾数ならびに稔実歩合を示したものである。1/2,000a ポット区は1/10,000a ポット区に比べて，根群の発達は明らかに良好であり，根の活力も高かった。稔実歩合は1/2,000a ポット区が1/10,000k ポット区に比べて約30%高かった。また，土壌温度を異にした例では，25℃区は15℃区に比べて約20%高かった。

考　察

根の形態・機能と稔実歩合の関係は，第13表に示すように，いずれの根部環境においても穂孕期に活力が高く，よく発達した根群を保持している区において稔実歩合が高くなっている。本研究では，実験Ⅰにおいては窒素肥料を加減してあり，また，実験Ⅱにおいては冷温処理中における短期間の土壌温度処理であるため，両実験とも地上部の生育には大きな区間差は認められない。したがって，稔実歩合の区間差には根部環境の相違による根の形態・機能の変化が強く関与していると考えられる。切断葉身の葉緑素分解は活力が高く，よく発達した根群を保持している区において抑制されているが，これは，おそらくそれらの区において根のサイトカイニン様物質の活性が高いことを示すものであろう[65,111]。

山田[104]は低土壌温度や根腐れ処理によって花粉の生産量，花粉活性がともに低下することを指摘している。また，森脇ら[48]は幼穂形成期前15日から51日間の茎基部の冷却による不稔が，根部の高温によって幾分軽減されることをみている。これらはいずれも根の形態・機能を直接調査したものではないが，穂孕期不稔との間に密接な関係があることを示唆するものである。

さらに，山本ら[108]が耐冷性を異にする数品種を供試しておこなった実験によると，主稈7葉期における茎単位断面積当たり1日の溢泌液量は穂孕期耐冷性と正の相関を示している。これは栄養生長期における溢泌液量の多少から穂孕期耐冷性を予測し得る可能性を示した注目すべき報告である。この場合，溢泌液量が多いほど根の吸水機能が高いとみられるから，穂孕期耐冷性の品種間差も根の機能と密接に関係していることが考えられる。

これらの実験結果は，堆肥連用水田に栽培された水稲の穂孕期耐冷性が，根の健全性と深く結びついているとした前節の指摘を支持している。根と穂孕期耐冷性との関連性についての直接的な証明は今後の研究に待たねばならないが，穂孕期に活力が高く，よく発達した根群を保持した稲体を作ることは，耐冷栽培上，また品種改良上重視しなければならない。

第5節　収量に対する効果

収量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

本章第1節の各年の材料のうち，収量調査を行ったのは1976年および1977年の2ヶ年である。したがって，本節ではこの2ヶ年のデータを示す。なお，収量は2㎡を刈り取り，粒厚1.8㎜以上の精玄米重で示した。収量構成要素は，成熟期の2株について調査した。

結　果

第55図に収量に対する堆肥施用の効果を示した。2ヶ年とも堆肥区も無堆肥区も窒素施用量が多く，常温下で多収を示した区ほど冷温処理による収量低下が大であった。冷温処理区の収量に対する堆肥施用の効果は，常温区の収量が10a 当たり500kg以下の低収域では認められなかったが，600kg以上の高収域で明瞭に認められた。

第14表に冷温処理区の収量に対する㎡当たり籾数ならびに稔実歩合の標準偏回帰係数を示した。標準偏回帰係数は2ヶ年とも稔実歩合の方が明らかに大であった。

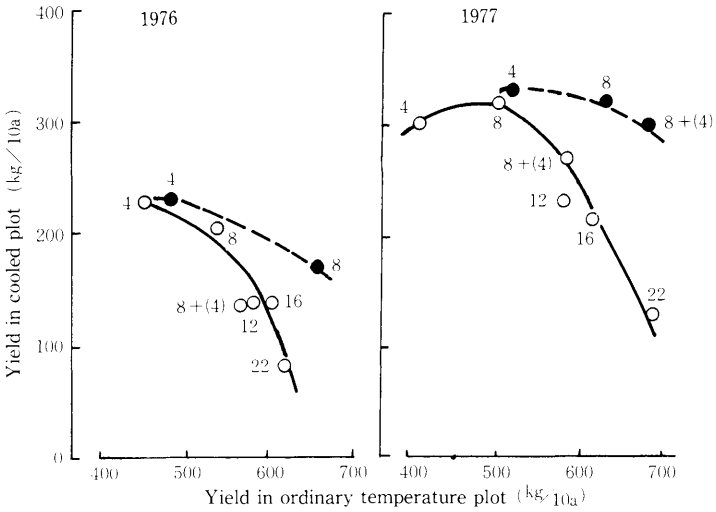

Fig. 55 Effect of compost application on yield of rice plants which were cooled at the booting stage.

Notes ○ : Control plot. ● : Compost plot.
Numerals indicate the amount of nitrogen applied as basal fertilizer (kg/10a).
Numerals in parentheses indicate the amount of nitrogen applied as top dressing at the spikelet differentiation stage (kg/10a).

Table 14. Relative effect of yield components on yield of rice plants cooled at the booting stage.

Year	Yield component	Standardized partial regression coefficient	Multiple correlation coefficient
1976	No. of grains/m^2	0.079	$r = 0.964^{***}$
	Fertility ($\sin \sqrt[1]{\%}$)	1.041	$r^2 = 0.924$
1977	No. of grains/m^2	0.519	$r = 0.894^{***}$
	Fertility ($\sin \sqrt[1]{\%}$)	1.278	$r^2 = 0.795$

Notes *** : Significant at 0.1% level.

考　察

冷害に対する堆肥施用の効果を収量で比較する場合，既往の研究においては化学肥料の施用量を一定にして比較したものが多い[29,36,45,70]。しかし，本章第1節で述べたごとく堆肥の窒素的肥効を考慮した場合，こうした比較の方法は適当でなく，堆肥の窒素的肥効の分だけ化学肥料の施用を多くした区と比較する必要がある。厳密には窒素だけでなくその他の要素についても考慮しなければならない。そうすると対照区の設定が極めて困難となる。

第55図に示した比較の方法はそうしたことにか

かわらず平年における収量水準を基準に置き，穂孕期冷温処理によってどれだけ減収するかを比較している。このような比較における堆肥施用の効果は，10a 当たり500kg以下の低収域ではほとんどなく，600kg以上の高収域で明瞭に認められる。標準偏回帰係数が２ヶ年とも稔実歩合において明らかに大きかったことは，高収域における堆肥施用の効果が，m²当たり籾数の変化によるよりも稔実の向上により大きく依存するものであることを示している。

安定多収ということは期待収量が高いほど困難であるが，堆肥施用はこれに対処するひとつの方法であると考えられる。

第６節　小　　括

穂孕期不稔に対する堆肥施用の効果を実証し，堆肥施用による水稲の形態・機能の変化との関連性について検討した。

１．稔実歩合は穂孕期葉身窒素含有率が３％程度では堆肥区と無堆肥区の間に大差はなかったが，それ以上の葉身窒素含有率になると，堆肥区の稔実歩合は無堆肥区のものに比べて明らかに高くなった。

２．穂孕期冷温処理に伴って起る２，３の葯異常（タペート肥大葯胞，偏平葯胞，小胞子発育不良葯胞，プロリン含量の低下）は，堆肥区で明らかに抑制された。

３．穂孕期の葉身窒素含有率がほぼ等しい材料について，穂孕期における根および地上部の生育状態を調べた。堆肥区の根は無堆肥区のものに比べて，より広く，より深層に分布し，活力も高いことが認められた。葉色，草丈、茎数に対しては堆肥施用の効果は認められなかった。稈と葉鞘を込みにしたものの炭水化物含有率は堆肥区において高かった。以上の諸調査によって，堆肥連用水田に栽培された水稲の穂孕期耐冷性は根の健全性と関連していることが示唆された。

４．穂孕期の根の形態・機能と穂孕期耐冷性との関連性を異なる根部環境によって検討した。穂孕期に活力が高く，よく発達した根群を保持した区において稔実歩合は高かった。この事実は，堆肥連用水田に栽培された水稲の穂孕期耐冷性が根の健全性と関連しているとした前述の指摘を支持している。

５．穂孕期冷温処理区の収量に対する堆肥施用の効果は，常温区の収量が10a 当たり500kg以下の低収域では認められなかったが，600kg以上の高収域では明瞭に認められた。

第3編　総括および結論

北海道における最近の水稲栽培技術の省力化が水稲の耐冷性に及ぼす影響を検討し，技術改善の指針を得ようとした。

第1編では葉齢を異にする多種多様な苗の活着期温度反応と出穂期との関係を明らかにするとともに，密播条件下の育苗において苗の葉齢を増加させる育苗管理法を究明した。第2編では圃場で穂孕期の稲を正確に冷温処理する装置を考案し，これを用いてこれまでほんんど経験的にしか論じられなかった穂孕期の不稔に対する窒素栄養的診断基準，ならびに堆肥施用効果について実験的根拠を示した。従来，穂孕期の不稔に関する研究は，圃場試験における正確な冷温処理が困難なことからほとんどがポット試験によって行われ，その成果を実際になかなか適用しかねることが多かったのに対し，本研究は大方を圃場試験によって行っており，冷害研究の新しい方法論を示している。

得られた結果を要約すれば次の通りである。

I　苗の葉齢と活着期の冷温による出穂遅延との関係

1．苗の葉齢の相違が出穂期に及ぼす影響

(1)　活着期冷温年次における出穂遅延，活着期冷水地温による出穂遅延はいずれも葉齢の低い苗ほど助長された。また，播種密度が高い苗，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。

(2)　活着期冷温による出穂遅延を軽減するには，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，1)の方法は困難である。機械移植栽培において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。苗の出葉速度は基本的には播種密度によって支配されるが，機械移植が前提となる今日の稲作では密播条件下においても出葉速度を早期に低下させない育苗管理技術を検討しなければならない。

2．育苗期における葉齢の促進方法の検討

(1)　寒冷紗1枚を被覆して出芽させた簡易育苗は，出芽器を使用（30℃，暗黒，60時間）して出芽させた箱育苗（30℃箱育苗）よりも移植時の葉齢が増加することを見い出した。育苗様式の違いによる葉齢の相違には，草型の変化と出芽期以降における地温の差の二つの影響が考えられた。しかし，箱育苗でも簡易育苗と同じように寒冷紗を被覆して出芽させると，両者の出葉経過はほぼ一致し，出芽期以降の地温の差は葉齢にほとんど影響していなかった。

(2)　簡易育苗と30℃箱育苗において移植時の葉齢が相違する直接の理由は，2葉期以降の出葉速度の違いにある。30℃箱育苗の出葉速度は2葉期以降急速に低下したが，簡易育苗の出葉速度は3葉期まで低下しなかった。30℃箱育苗は簡易育苗に比べて第2葉の葉身が湾曲し，葉が上層に分布していた。30℃箱育苗の地上部窒素含有率は2葉期頃から急速に減少し，NARは著しく低下した。以上のような，簡易育苗と30℃箱育苗における生育の比較から，密播条件下における出葉速度の相違には2葉期の草型が強く関与することを明らかにした。

(3)　30℃箱育苗と簡易育苗における育苗期の葉身および葉鞘長の中で，第2葉葉身長に最も顕著な差が認められた。密播条件下において出葉速度を早期に低下させないためには，第2葉葉身長を5cm以内に止め，直立型群落を作ることが必要である。被覆資材を用いた出芽方法はそのための有効な手段のひとつである。

II 窒素ならびに堆肥施用と穂孕期冷温による不稔との関係

1．圃場における穂孕期冷温処理方法の検討

圃場試験の材料を穂孕期に精密に冷温処理するために二つの装置を考案した。ひとつは，穂を含む葉鞘部を局部的に冷却する装置である。この装置を用いて10～50茎の穂を含む葉鞘部を外気温が10℃以上変化した場合でも２～３℃の幅で冷温処理することができた。もうひとつは，圃場において精密に温度処理できる冷水灌漑装置である。この装置を用いることによって真夏の晴天日でも約30m²の水田の全茎の幼穂を10～16℃の範囲で恒温（±0.5℃）に処理することができた。

2．穂孕期の冷温による不稔を軽減・防止する稲体窒素条件について

(1) 穂孕期の不稔に関する葉身限界窒素含有率(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3.3～3.6％であった。多窒素によって不稔を多発させないためには，穂孕期に葉身窒素含有率がこれらの値を越えないように施肥することが必要である。

(2) 葉色と葉身窒素含有率との間には，品種，生育時期に関してそれぞれ0.1％水準の有意な正の相関が認められた。回帰式は次の通りである。しおかりおよびイシカリ：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，X：葉色（最上位展開葉），Y＝葉身窒素含有率。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の穂孕期葉身限界N％の葉色値は，上記の回帰式によりそれぞれ4.8～5.3，5.3～5.8と計算された。しかし，回帰式の推定精度を考慮すると，現地圃場における診断においては，それぞれの上限値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N％の葉色値とみなしてよい。上川農業試験場圃場における３ケ年の窒素分施栽培の結果にもとずいて耐冷栽培における葉色推移曲線を策定した。

3．穂孕期の冷温による不稔に対する堆肥施用の効果

(1) 稔実歩合は穂孕期葉身窒素含有率が３％程度では堆肥区と無堆肥区の間に大差はなかったが，それ以上では堆肥区が無堆肥区に比べて明らかに高かった。穂孕期冷温処理に伴って起る２，３の葯異常も堆肥区では抑制された。

(2) 穂孕期の葉身窒素含有率がほぼ等しい堆肥区と無堆肥区の材料について生育を比較したところ，根の形態と機能に明瞭な相違が認められた。堆肥区における穂孕期耐冷性は根の健全性と関連していることが示唆された。

(3) 穂孕期耐冷性と根の形態と機能との関連性を異なる根部環境によって検討した。穂孕期に活力が高く，よく発達した根群を保持した区において稔実歩合は高かった。穂孕期によく発達した根群を保持した稲体を作ることは，耐冷栽培上，また，品種改良上重視しなければならない。

(4) 堆肥区も無堆肥区も，窒素施用量が多く，常温下で多収を示すものほど冷温処理による収量低下が大であった。冷温処理区の収量に対する堆肥施用の効果は，常温区の収量が10a当たり500kg以下の低収域では認められなかったが，600kg以上の高収域では明瞭に認められた。安定多収ということは期待収量が高いほど困難であるが，堆肥施用はこれに対処するひとつの方法であると考えられた。

引　用　文　献

1）天野高久　1976.　水稲の冷害に関する栽培学的研究．Ⅰ．冷温処理装置について．北海道立農業試験場集報　**34**：1－7．

2）天野高久・森脇良三郎　1980.　水稲の障害型冷害に関する研究．Ⅳ　2，3の根部処理が不稔発生に及ぼす影響．日作紀　**49**（別1）：187－188．

3）天野高久・森脇良三郎・森田弘彦・竹川昌和・山崎信弘・山崎一彦　1982.　水稲の障害型冷害に関する研究．Ⅴ　葉色による窒素過剰イネの診断．日作紀　**51**（別1）：111－112．

4）天野高久　1983.　堆肥を施用した水稲の形態と機能―穂孕期不稔に関連して―．日作紀　**52**：395－401．

5）天野高久　1984.　「水稲冷害克服の戦略」．2　栽培の立場から．日本育種学会．日作北海道談話会報　**24**（特別号）：51－70．

6）天野高久・森脇良三郎　1984.　水稲の冷害に関する栽培学的研究．第2報　穂孕期不稔に関する葉身の限界窒素含有率．日作紀　**53**：1－6．

7）天野高久・森脇良三郎　1984.　水稲の冷害に関する栽培学的研究．第3報　穂孕期不稔に対する堆肥施用の効果．日作紀　**53**：7－11．

8）朝隈純隆　1958.　水稲の出穂に関する生態的研究．（Ⅰ報）2，3の条件と出穂日数について．（Ⅱ報）日本稲の基本栄養生長性，感光性，感温性について．日作紀　**27**：61－66．

9）江川友治　1964.　堆厩肥の土壌肥料学的論議――歴史的に，総括的に――．農業技術　**19**：1－5．

10）榎本中衛　1943.　水稲の冷水灌漑に関する研究　（第6報）京都大学農学部作物学研究室業績．1－20．

11）羽生寿郎・岡本利高・内島立郎・藤原　忠　1973.　開放型変温実験装置の試作．東北農業試験場研究報告　**45**：101－116．

12）長谷川儀一　1963.　葉分析による水稲の栄養診断に関する研究．京都大学学位論文．

13）長谷川浩　1959.　水稲の出葉速度と土壌温度．農及園　**34**：1795－1798．

14）橋本秀教　1977.　有機物施用の理論と応用．農山漁村文化協会，東京　13－94．

15）樋口福男・太田　浩　1960.　水稲の栽培環境による前歴が耐冷性に及ぼす影響について．東北農業研究　**2**：54－55．

16）北海道立上川農業試験場　1979.　昭和54年度水稲栽培科試験成績書．18－29．

17）本谷耕一　1967．水稲多収の基礎条件．農山漁村文化協会，東京．

18）本谷耕一　1975.　地力維持を考える　―危機に立つ稲作―．家の光協会，東京．

19）細井徳夫　1976.　気象要因による水稲生育の変動性に関する研究．Ⅰ．生育温度の差異による水稲の出穂変動性の品種間差異．育雑　**26**：328－338．

20）細井徳夫　1977.　気象要因による水稲生育の変動性に関する研究．第2報　生育温度の差異と稚苗および成苗移植栽培における品種の出穂変動．日作紀　**46**：352－360．

21）藤村利夫　1969.　寒冷地稲作における窒素施肥法．農及園　**44**：1669－1672．

22）飯田一郎　1968.　稲の穂肥要否判定法．農業技術　**23**：257－260．

23）今井良衛　1980.　色票による水稲の葉色表示と生育中後期の栄養診断．農林水産省農林水産技術会議事務局編，新しい技術．**18**：103－110．

24）伊藤延男　1975.　イネの冷温障害　〔1〕―とくに遅延型冷害について―．農及園　**50**：1465－1470．

25) ITO, N. 1976. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XV. Effect of moderate cooling before or after the critical stage on the sterility induced by cooling at the critical stage. Proc. Crop. Sci. Soc. Japan **45**：558－562.

26) 伊藤延男　1980.　イネ障害型冷害における葯の生理学的異常及びその出現時期. 北海道農業試験場研究報告　**125**：41－75.

27) 岩淵晴郎　1981.　化学肥料の功罪はどこに. 中山利彦他監修　有機質肥料のすべて. ニューカントリー臨時増刊号. 8－10.

28) KABAKI, N., T. YORIYAMA and K. TAJIMA 1982. Physiological mechanism of growth retardation in rice seedlings as affected by low temperature. Proc. Crop. Sci. Soc. Japan **51**：82－88.

29) 鎌田金英治・岡田晃治　1976.　水稲栽培における堆肥施用の効果—栽培条件と根の活性を中心として—. 農及園　**51**：867－871.

30) KANEDA, C. and H. M. BEACHELL 1974. Response of indca－japonica rice hybrids to low temperatures. SABRAO Jour. **6**：17－32.

31) 川田信一郎　1974.　作物の側からみた地力問題. 農業構造問題研究　**99**：46－54.

32) 川田信一郎・副島増夫　1976.　水稲根の生育とくに〝うわ根〟の形成と堆肥施用との関係について. 日作紀　**45**：99－116.

33) 菊地　修・中鉢富夫・塩島光州　1981.　ササニシキの簡易窒素栄養診断技術. 第2報　葉色板の活用法. 東北農業研究　**29**：13－14.

34) 木根淵旨光　1969.　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. 東北農業試験場研究報告　**38**：1－151.

35) 小林正男・佐竹徹夫　1979.　イネ穂ばらみ期冷温による不稔を防止するために有効な灌漑水の深さ. 日作紀　**48**：243－248.

36) 高坂　巖　1974.　水稲に対する有機物施用の効果. 農業技術　**29**：7－11.

37) 久保田収治　1980. 作物を診断する. I 栄養診断. 化学と生物　**18**：580－584.

38) 松島省三・角田公正・真中多喜夫　1958.　水稲の登熟に及ぼす生育各期の気温・日射及び気温較差の影響. 農及園　**33**：877－883.

39) 松島省三・田中孝幸　1960.　水稲収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究. LV 不受精籾の早期鑑別法. 日作紀　**28**：365－366.

40) 松島省三・田中孝幸・星野孝文　1968.　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78報　各種気温・水温条件下で育成した苗の各種の気温・水温条件下での活着良否について. (1)　苗代日数が同一の苗を移植した場合. 日作紀　**37**：161－168.

41) 松崎昭夫・松島省三　1971.　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105報　V字理論稲作と減数分裂期の低温抵抗性との関係. 日作紀　**40**：519－524.

42) 松崎昭夫・刈屋国男・町田寛康・角田公正　1980.　水稲の生育調節と栄養診断に関する研究. 第1報　色票による葉色診断と単位面積当たり穎花数の推定. 日作紀　**49**：439－444.

43) MATSUZAKI, A., K. KARIYA, H. MCHIDA and K. TSUNODA 1982. Studies on the growth control and the nutritional diagnosis in rice plants. III. Growth diagnosis at the stage of spikelet initiation for nitrogen top dressing. Proc. Crop. Sci. Soc. Japan **51**：322－331.

44) 三本弘乗・中堀登示光・本田勝雄・松田幹男・佐藤尚雄　1973.　水稲の機械化移植栽培に関する生態的研究. 第1報　移植期における温度条件について　(1)　日作東北支部会報 **15**：25－27.

45) 南　松雄　1976.　水田地力の現状と有機物施用の意義. 北農　**43**(1)：3－17.

46) 森　哲郎　1974.　寒冷地における水田地力の現状と地力対策. 農業技術　**29**：193－198.

47) 森田弘彦・村上利男　1979.　大正2年の気

象を想定した場合の現行栽培稲の生育相．日本育種学会・日作北海道談話会報 **19**：9．
48) 森脇 勉・高村泰雄・長谷川浩 1962．水稲の茎基部および根部の低温が不稔発現におよぼす影響．近幾作物・育種談話会報 **7**：47—48．
49) Moriwaki, T. 1974. Physiological studies on the effects of soil temperature upon the vegetative growth of rice plants. Memories Coll. Agr. Kyoto Univ. **105**：1－71.
50) Moriwaki. T. 1979. Effects of soil temperature on the vegetative growth of rice. JARQ **13**：16－21.
51) 村山 登・吉野 実・大島正男・塚原貞雄・川原崎裕司 1955．水稲の生育に伴う炭水化物の集積過程に関する研究．農技研報 B **4**：124－129．
52) 中山正義・太田保夫 1980．作物に対するエチレンの生理作用に関する研究．第5報 土壌のエチレン生成におよぼす水および堆肥の影響．日作紀 **49**：359－365．
53) 中山正義・太田保夫 1980．作物に対するエチレンの生理作用に関する研究．第6報 ダイズおよびイネ幼植物の根の生長におよぼす炭化水素とくにエチレンの影響．日作紀 **49**：366－372．
54) 西山岩男 1976．全国イネ冷害実態調査アンケート．北海道農業試験場研究資料 **8** 1－42．
55) 西山岩男 1976．イネの冷害—穂孕期不稔の発生機構—．化学と生物 **14**：479－486．
56) 西山岩男 1978．古くて新しい問題〝冷害〟—障害型冷害研究の最近の展開に関連して—．科学 **48**：766－776．
57) 農業生産工学研究会 1979．水稲の葉色表示法に関する試験成績概要．技術参考資料 **No.33**：1－52．
58) 農業生産工学研究会 1980．色票板の現地における用例．技術速報 **No.10**：1－33．
59) 岡 彦一 1954．稲品種の感光性，感温性及び生育日数の品種間変異．栽培稲の系統発生的分化（第3報）．育雑 **4**：92－100．
60) 大島正男 1966．水稲の穂肥要否の簡易判定法．農及園 **41**：1081－1082．
61) 大谷義雄・土井弥太郎・泉清一 1948．水稲冷害の生理学的研究（予報）．〔IX〕挿秧後各期における硫酸アンモニア施用と出穂並びに低温障害との関係．日作紀 **16**：3－5．
62) 尾崎 清 1954．水稲の窒素代謝に関する研究，III．amino 酸及び amides について（その3）—asparagine の検出による穂肥要否の判定—土肥誌 **25**：20－24．
63) Ozaki, K. and K. Tai 1961. Nitrogen metabolism of paddy rice at heading. (1) Free proline in the pollens. Soil and Plant Food **6**：184－185.
64) 李 鐘薫・太田保夫 1973．水稲根の形態および機能と地上部諸形質との関連について．農技研報 D **24**：61－105．
65) 李 善龍・井上 駿・雨宮 昭 1973．水稲品種「統一」の葉枯れに関する生理学的研究—透水の効果について—．日作紀 **42**（別1）：23－24．
66) 斉藤準二・今野一男 1966．北海道における早播熟苗栽培法．農業技術 **21**：1－5．
67) 斉藤準二 1980．昭和54年度稲作の反省と改善方策．北海道立上川農業試験場専門技術員室資料 P.12.
68) 酒井寛一 1949．冷害におけるイネ不稔性の細胞組織学ならびに育種学的研究特に低温によるタペート肥大に関する実験的研究．北海道農業試験場報告．**43**：1－46．
69) Sakamoto, S. and K. Toriyama 1967. Studies on the breeding of nonseasonal short duration rice varieties with special reference to the heading characteristics of japanese varieties. Bull. Chugoku Agri. Exp. Sta. Series A **14**：147－166.
70) 坂柳迪夫 1973．水田における地力培養対策の推進について．圃場と土壌 **53**：28－32．
71) 作物分析法研究会編 1975．栄養診断のための栽培植物分析測定法．養賢堂，東京．

72) 佐々木一男・和田 定 1975. イネの冷害不稔発生に対する窒素・燐酸，および加里の影響．日作紀 **44**：250－254.

73) SATAKE, T. 1976. Determination of the most sensitive stage tn sterile-type cool injury in rice plants. Res. Bull. Hokkaido Nati. Exp. Sta. **113**：1－44.

74) 佐竹徹夫 1980. イネ冷害の機構と栽培的対策．農業気象 **35**：251－261.

75) 佐竹徹夫 1981. 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.

76) 佐藤 庚・朴 慶培 1981. 水稲幼植物の低温障害に関する研究．第1報 Japonica × Indica 品種〝統一〟の低温による苗の生育．葉色および葉緑体構造の変化．日作紀 **50**：169－175.

77) 佐藤 庚・朴 慶培 1981. 水稲幼植物の低温障害に関する研究．第2報 葉色の低温による変色，常温による回復と色素組成との関係ならびにその品種間差．日作紀 **50**：401－406.

78) 佐藤 庚・朴 慶培 1982. 水稲幼植物の低温障害に関する研究．第3報 低温による葉身葉緑体の微細構造の変化とその品種間差異．日作紀 **51**：205－214.

79) 佐藤 庚・朴 慶培 1982. 水稲幼植物の低温障害に関する研究．第4報 葉身水抽出液の電導度と無機成分含量に及ぼす低温処理の影響およびその品種間差異．日作紀 **51**：215－220.

80) 沢村 浩・相見霊三 1959. 作物体の一部を冷したり温めたりするための簡易な装置．農及園 **34**：687－688.

81) 柴田和博・佐々木一男・島崎佳郎 1970. 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.

82) 志賀一一 1976. 水稲生育に対する地力窒素の役割．北農 **43**(1)：18－31.

83) 志賀一一 1977. 北海道における水田施肥について．北農 **43**(11)：1－34.

84) 島崎佳郎・佐竹徹夫・渡辺潔・伊藤延男 1964. 穂孕期の昼夜温ならびに遮光処理が不稔粒発生におよぼす影響（水稲冷害の解析的研究IV）．北海道農業試験場イ報 **83**：10－16.

85) 城下 強・石井企救男・金子淳一・北島 知 1962. 施肥効果の増進による水稲の高位生産に関する研究．農事試験場研究報告 **1**：47－108.

86) 高村泰雄・竹内史郎・長谷川浩 1961. 土壌温度が作物の生育に及ぼす影響．第3報 水稲の出葉速度と土壌温度との関係．第8報 水稲体の部位温度と出葉速度との関係．日作紀 **29**：195－198.

87) 武田友四郎・丸田 宏 1955. 作物の瓦斯代謝作用に関する研究．第3報 照度並びに苗立密が稲苗の光合成に及ぼす影響． 日作紀 **24**：34－40.

88) 田中 稔 1962. 水稲の冷水並びに出穂遅延障害に関する研究．青森県農業試験場研究報告．**7**：1－107.

89) 田中 稔 1976. 12年目の水稲冷害に想う．農業技術 **31**：548.

90) 田中 稔 1977. 冷害の元凶は現在の栽培技術か．日本科学者会議第4回全国農学シンポジューム講演要旨．p.1.

91) 田中孝幸 1972. 水稲の光一同化曲線に関する作物学的研究――特に受光態勢制御との関係――．農技研報 **A19**：1－98.

92) 丹野文雄・武田敏昭・鈴木平喜 1981. 葉色による水稲の栄養診断と生育予測について．東北農業研究 **29**：7－8.

93) 茅野充男 1977. 植物の栄養診断．植物の化学調節 **12**：90－94.

94) 鳥山国士 1962. 水稲品種の耐冷性検定方法並びに耐冷性の遺伝に関する研究．青森県農業試験場研究報告．**7**：109－153.

95) 鳥山国士・坂本敏・岩下友記・徐 進生 1969. 異なる緯度で栽培した日本稲の出穂性について．中国農業試験場報告．**A17**：1－

16.
96) 坪井八十二・根本順吉編 1977. 異常気象と農業. 朝倉書店, 東京.
97) 角田公正 1964. 水温と稲の生育. 収量との関係に関する実験的研究. 農技研報 A **11**：75－174.
98) 角田公正・和田純二・佐藤亮一 1966. 水稲冷害の実際的研究. 第22報 低温による出穂遅延度の品種間差異とその機構 (1). 日作紀 **34**：399－402.
99) 上野正夫・斉藤昭四郎・小南 力・斉藤正志・渡辺和夫・鈴木 正 1978. 水稲に対する有機物および土壌改良資材の施用効果. 山形県立農業試験場研究報告 **12**：57－86.
100) 和田栄太郎 1952. 稲の感温性及び感光性に関する研究. 第1報 日本における水稲品種の感温性及び感光性とその地理的分布について. 育雑 **2**：55－62.
101) 和田栄太郎・野島数馬 1954. 稲の感温性及び感光性に関する研究 第3報 播種期による出穂期移動について. 育雑 **3**：27－35.
102) Walsh, L. M. and J. D. Beaton 1973. Soil testing and plant analysis. Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison.
103) 渡部忠世・森脇 勉 1981. 堆肥連用水田における窒素の動態に関する研究 —自然農法研究記念論文集—. 環境科学総合研究所, 京都. 193－197.
104) 山田一郎 1966. 稲花粉の人工発芽ならびに発芽生理に関する研究. 京都大学学位論文.
105) 山田 登・太田保夫・中村 拓 1961. α－ナフルアミンによる水稲根の活力診断. 農及園 **36**：1983－1985.
106) 山田記正・河野恭広 1976. 水稲花粉の発育生理学的研究. 第2報 花粉の発育とアミノ酸代謝. 日作紀 **45**：1－8.
107) 山田記正・河野恭広 1976. 水稲花粉の発育生理学的研究. 第3報 減数分裂期の窒素過剰追肥が花粉の発育とアミノ酸代謝におよぼす影響. 日作紀 **45**：279－287.
108) 山本隆一・久保田田鶴子・大内邦夫・浜村邦夫 1982. 水稲耐冷性と溢泌液量との関係. 日本育種学会・日作北海道談話会報 **22**：16.
109) 山下鏡一 1978. 水田における有機物の効果と問題点. 土肥誌 **49** 特別号：52－60.
110) 山崎耕宇 1964. 水稲の葉の形態形成に関する研究. IV 葉の形態形成を解明する二, 三の実験. 日作紀 **32**：237－242.
111) 葭田隆治・折谷隆志 1974. 根腐れ稲葉身の蛋白合成におよぼすサイトカイニン処理の影響について. 日作紀 **43**(別号2)：115－116.

Studies on Cool Weather Damage with Special Reference to Improvements in Rice Cultivation Techniques

Takahisa Amano

Summary

In order to find data for improving growing techniques, this study was conducted on the effects that recent mechanization of rice growing techniques in Hokkaido has had on rice plants' resistance to cool weather.

In the first section, the relation between the response to temperature of various seedlings of different ages at the rooting stage and their heading time was elucidated. Better techniques for raising seedlings to increase seedling age was investigated under dense seeding conditions. In the second section, two new types of cooling devices were devised to obtain specific cool temperatures in order to treat rice plants at the booting stage under field conditions. In the experiments using these apparatuses two improved techniques for preventing cool-weather sterilization were found.These were : (1) The criteria for nutritional diagnosis with the nitrogen content of the rice plants in relation to sterility caused by cool temperatures at the booting stage (Booting Sterility), and (2) The protective effect of compost application in preventing booting sterility.

The results of the present studies are summarized as follows :

I. The relation between the seedling age and the delay of heading due to cool temperatures at the rooting stage.

1. The effect of seedling age on heading time.

(1) The degree of heading delay occuring both in cool temperature years and at cool soil temperatures (caused by cool-water treatment) at the rooting stage increased as the plant age decreased. Furthermore, the higher the seeding density and the lower the seedling age was, the more the heading delay due to late transplasting increased.As a result, the optimum transplanting period for younger seedlings was restricted to within narrow limits.

(2) There are two ways to minimize the delay of heading due to cool temperature at the rooting stage : One is to accelerate the leaf emergence rate and the other is to reduce the number of leaves on the main stem after transplanting. Under cool weather conditions it is difficult to accelerate the leaf emergence rate after transplanting. Therefore, even for mechanical transplanting, it is necessary to transplant more mature seedlings and to decrease the number of leaves on the main stem after transplanting.

2. Method for increasing the seedling age under dense seeding conditions.

(1) Seedlings produced in a simplified nursery (the soil surface is covered with a sheet of cheese cloth during the emergence period) had a higher number of leaves than those produced in an ordinary box - type nursery (the temperature during the 60 hours after seeding was kept at 30℃ in an emergence apparatus). It was felt that two reasons for differences in plant development using these two methods were changes in

plant type and differences in soil temperature after the emergence stage. However, when the soil surface of the box - type nursery was covered with a sheet of cheese cloth during the emergence period (like the simplified nursery) the emergence pattern of the seedlings was essentially the same as that in the case of the simplified nursery. Accordingly, the seedling age was not influenced by soil temperature differences after the emergence stage.

(2) Differences found in seedling age at the time of transplanting were caused by the fact that each of two raising methods has a different leaf emergence rate after the 2nd leaf stage. The leaf emergence rate in the 30℃ box - type nursery rapidly decreased after the 2nd leaf stage. On the other hand, those in the simplified nursery did not decrease until the 3rd leaf stage. Seedlings produced in the 30℃ box - type nursery had 2nd leaves with drooping leaf blades and they were generally distributed higher up in comparison with those in the simplified nursery. The nitrogen content of the shoot and the net assimilation rate of leaves rapidly decreased in the 30℃ box - type nursery after the 2nd leaf stage. As a result, it was shown that the leaf emergence rate is greatly influenced by the plant type at the 2nd leaf stage.

(3) Concerning the length of leaf blades and leaf sheaths between the 30℃ box - type nursery and the simplified nursery, the largest difference was found in the length of the 2nd leaf blades. In order to keep the leaf emergence rate from decreasing under dense seeding conditions, it is necessary to keep the leaf blades of the 2nd leaves shorter than 5 cm and to grow plants with erect leaves. The use of cheese cloth is thought to be an effective emergence acceleration device.

II. The relation of nitrogen and compost applications to sterility caused by cooling at the booting stage.

1. The investigation on cooling techniques of rice plants at the booting stage.

Two kinds of new apparatuses for cooling rice plants in the field to within precise limits at the booting stage were designed. One is an apparatus which cools the leaf sheaths (including panicles) locally. By using this, 10 - 50 leaf sheaths (including panicles) were cooled with 2 - 3℃ accuracy. This accuracy was maintained even when the ambient temperature fluctuated more than 10℃. The other one is an apparatus for controlling the temperature of irrigation water precisely. Using this 2nd method, all young panicles in a 30 m^2 field could be cooled to a constant temperature (±0.5℃) between 11 and 16℃, even in the middle of the summer. These two newly developed techniques will be useful in comparing the results of pot experiments in phytotron or growth cabinets with those of field experiments.

2. Concerning the amounts of nitrogen necessary for reducing or preventing sterility caused by cool temperatures at the booting stage.

(1) The critical amounts of nitrogen in the leaf blade in relation to sterility caused by cool temperatures at the booting stage were 3.0 - 3.3 % in Shiokari and 3.3 - 3.6 % in Ishikari. For preventing high sterility, it is necessary to keep the amount of nitrogen in the fertilizer at the booting stage below critical levels.

(2) A positive correlation between leaf color and nitrogen content in the leaf blade was highly significant (at 0.1 % level) among varieties and growth stages. The regression equations were as follows : The spikelet differentiation stage, $Y = 0.784X - 0.150$; the booting stage, $Y = 0.538X + 0.444$, in Shiokari and Ishikari. The spikelet differentiation stage, $Y = 0.689X + 0.411$; the booting stage, $Y = 0.449X + 1.059$, in Kitahikari. Where X and Y represent observed values of leaf color in the uppermost expanded leaves and nitrogen content in percent on a dry weight basis of the leaf blade, respectively. The confidence

interval of estimated values was 0.4 - 0.5 % for all these equations.

(3) The leaf colors corresponding to the critical nitrogen levels at the boothing stage in Shiokari and Ishikari, which were calculated from these regression equations, were 4.8 - 5.3 and 5.3 - 5.8, respectively. However, in view of the fact that the accuracy of estimation using these regression equations is rather low, it is advisable to use readable color grades nearest each upper limit (Shiokari, 5.5 ; Ishikari, 6.0) as indicators of the critical nitrogen content at the booting stage for the purpose of diagnosing the leaf color in farmers' fields. Based on the results of investigations on top dressing with nitrogenous fertilizer at the Kamikawa Agricultural Experiment Station over three years, charts showing the changing patterns of leaf color at different stages of growth were developed to indicate safe limits for rice cultivation in cool - weather areas (Fig. 41).

3. The effect of compost application on cool - temperature related sterility at the booting stage.

(1) The sterility of rice plants in the compost plots was lower than that in the control plots when the leaf nitrogen content was above 3.0 %, though there was no difference in the range below 3.0 %. There were fewer deformed anthers (as a result of cooling at the booting stage) in the compost plots than in the control plots.

(2) It was recognized that there were great differences between the compost plots and the control plots in the morphology and function of the roots at equal levels of leaf nitrogen. It was suggested that higher resistance to cool weather at the booting stage of the plants in the compost plots was closely related to increased root activity.

(3) The relation between resistance to cool weather at the booting stage and the morphology and function of the roots was surveyed in plants of the same variety grown in different root environments. Fertility was higher in the plots which had more active and better - developed root systems. Active and well - developed root systems at the booting stage should be considered a necessary part of cool - weather resistance in practical rice cultivation as well as in the breeding of new varieties in cool regions.

(4) Compost application had a protective effect from yield decrease under cool temperature conditions at the booting stage, and it was more remarkable at high yields (above 600 kg/10a) than at low yields (below 500 kg/10a) under ordinary temperature conditions. These results indicate that compost application is one possible method for combining stability and high yield in rice cultivation.