日作紀（Jpn. J. Crop Sci.）70(1)：84—91（2001）

イネの穂ばらみ期耐冷性に及ぼす相対的根量および根の生理的活性の変化の影響

張祖建*・中村貞二・西山岩男
（東北大学）

要旨：イネの穂ばらみ期冷害において，根の量あるいは生理的活性が耐冷性と関係があることが知られている．著者らは前報において，地上部の量あるいは穎花数に対する相対的な根の量が耐冷性と相関があることを明らかにした．本報では，耐冷性に関する根の役割を解明する目的で，主にササニシキを用い，ポット実験（水耕あるいは土耕）によって，剪根や呼吸阻害剤の処理により実験的に相対的根量あるいは生理的活性を変化させ，耐冷性との関係を調べた．冷害危険期冷温処理の5日前（花粉母細胞分化期）頃に剪根（約75%切除）あるいは分げつ切除（全分げつ）の処理を行った場合には，冷温処理区の受精率が（無切除区に対して）変化しなかった．しかし，1次枝梗分化開始期前後に剪根処理を行った場合には，冷温処理区の受精率が低下した．また，この時期からの呼吸阻害剤（アジ化ナトリウム）処理によっても冷温処理区の受精率の低下が起こった．さらに，グルコース施用によって土壌を還元状態にして根の生理的活性を弱めた場合に，耐冷性極強のひとめぼれでは冷温処理区の受精率が低下しなかったが，耐冷性弱のササニシキでは低下が見られた．以上の結果は，相対的根量および根の生理的活性が耐冷性に影響を及ぼすことを証明している．ただし，処理時期を変えた剪根実験の結果から，1次枝梗分化開始期頃の処理では耐冷性の低下が見られたが，冷害危険期直前の処理では耐冷性の低下が明らかでなかった．この事実は，相対的根量あるいは根の生理的活性の影響が危険期に冷温に遭遇した状況で直接に起こるのではなく，それ以前に，例えば，花粉形成過程などへの影響を通して起こっている可能性を示唆している．

キーワード：イネ，耐冷性，根，穂ばらみ期，冷害．

窒素肥料を多量に施用するとイネの耐冷性が低下することは実際の経験として古くから知られているし，実験的にも証明されている（佐々木・和田 1975，Satakeら 1987）．また，1993年の大冷害の実状調査の結果，水稲減収程度に影響する第一要因は窒素施肥であることが指摘された（作井 1994，小山田 1995）．対策技術でも適期，適量な窒素の施肥技術はイネ障害型冷害の耐冷性を高める一般的な措置として行われている（西山 1997）．しかし，その機構については，現在のところ不明な点が多い．

一方，堆肥施用はイネの耐冷性を高める措置として昔から採用されてきた方法である．天野・森脇（1984 a）は自ら開発した冷水潅漑装置を用い，堆肥施用に耐冷性を高める効果があることを圃場レベルで実験的に明らかにした．そして，堆肥を連年施用した圃場ではイネの根がよく発達し，根の活性も高いことを報告した（天野 1984 b）．また，ポットのサイズにより根の生長を変化させると，冷温下での不稔発生に影響を及ぼすことを明らかにした（天野 1984 b）．Yamamoto and Nishimura（1986）は根の活性として切断茎からの出液量を調べた結果，それらは品種の耐冷性と高い相関を持つことから出液量により品種の耐冷性を検定できる可能性を示唆した．また，イネの冷害に関して長い期間に蓄積された実態的な調査から，被害が軽かったイネは共通して根の発育が良く，深層に伸びる根が被害軽減に寄与するようである（西山 1985，小沢 1994，高城 1995）．

一方，著者らは前報（張ら 2000）で，窒素施肥量と土壌の水分条件を変えてイネを生育させ，根量と不受精発生の関係を解析した．その結果，異なる水分条件のいずれにおいても多肥区ほど生育が旺盛であったが，地上部に対する相対的根量あるいは穎花数に対する相対的根量は多肥区ほど小さくなった．そして，冷害危険期（小胞子初期）に冷温処理した区の受精率は多肥区ほど低下した．この受精率と根/葉茎穂比，または1穎花当たりの根乾物重の間には高い相関が得られたことから，地上部に対する相対的根量，あるいは穎花数に対する相対的根量が冷害時における不受精発生と関係があることが示唆された．

そこで本研究では，イネ穂ばらみ期耐冷性に及ぼす根の働きを明らかにするために，剪根処理や分げつ切除処理により人為的に相対的根量を変化させた場合，また，根への呼吸阻害剤処理やポットへのグルコース投入による土壌の還元化処理により根の生理的活性を低下させた場合の耐冷性を調査し，根の相対的量および生理的活性と耐冷性の関係を実験的に証明することを試みた．

材料と方法

第1実験（1998年）

剪根処理および通気処理が耐冷性に及ぼす影響：供試品種は耐冷性がやや弱のササニシキ（佐々木 1995）を用いた．催芽種子をpH 5.5に調整した水道水を用い，サランネット上で3.2葉期まで生育させた後，500 mLのプラス

2000年10月10日受理．＊連絡責任者（〒981-8555 仙台市東北大学大学院農学研究科 zzj@bios.tohoku.ac.jp）．本研究の一部は文部省科学研究費（No. 10460008）によった．

NII-Electronic Library Service

チック瓶に1本植えし水耕栽培した．分げつは出現時に速やかに除去し，主茎のみを供試した．水耕液はMae and Ohira（1981）の処方で標準の1/4濃度から始めて2週間ごとに1/2，3/4，1倍とあげてゆき，出穂後1/2，1/4倍に下げた．なお，水耕液は1週間に1度交換した．花粉母細胞分化期（冷温処理5日前）に根の本数の約75%を目安とし根元から切除する剪根処理を行い，新しい根が出たら速やかに切除した．また，3.2葉期から冷温処理まで水耕液中に空気を緩やかに流す通気処理区を設けた．

本実験では穂上の特定位置の穎花，すなわち第1～3枝梗の上から3～5番目の穎花（特定穎花）のみを供試した．冷温処理は予め顕微鏡により特定穎花の小胞子初期を確認し，昼17 ℃－夜12 ℃（昼：06：00～18：00）の自然光型ファイトトロンで5日間行った．小胞子初期を確認した際の平均葉耳間長はすべての区で－4 cmであった．それを基準として±2 cmの範囲にある個体の受精率の平均値をその区の受精率とした．また別の材料を用い，小胞子初期に30 ℃の暗条件下における24時間分（19：00から翌日の19：00まで）の出液量を常法で測定した（森田 1998）．また同じ個体の根とそれ以外の部分（葉，茎，穂）の2部分に分けて80 ℃で通風乾燥し，乾物重を測定した．各測定当たりの個体数は8～12であった．結果についてt検定により有意性を検定した（以下の検定方法同）．

分げつ切除処理が耐冷性に及ぼす影響：4 Lのプラスチックポットに沖積水田土壌を詰め，ササニシキを1本植えし，常法で栽培管理した．施肥は基肥で，被覆尿素肥料（LP 100）を用い，窒素成分でポット当たり1 gとした．主茎の特定穎花の花粉母細胞分化期にすべての分げつを一斉に切除し（地上部のみ），主茎のみを残した．冷温処理は顕微鏡により主茎の特定穎花の小胞子初期を確認した葉耳間長（-1～-3 cm）の時期（分げつ切除処理後5日目）に15 ℃の冷水に地上部28 cmまで沈め，4日間行った．受精率，穎花数，出液速度の測定は前述したとおりであるが，対照区では出液速度の測定時にすべての茎を同じの高さで切って，主茎のみの出液を収集した．なお，各測定当たりの個体数は8～12であった．

第2実験（1999年）

剪根処理および呼吸阻害剤処理が耐冷性に及ぼす影響：ササニシキを供試し，4 Lのプラスチックポットに円形15本植えとし，第1実験と同様に水耕栽培した．分げつは出現時に速やかに除去し，主茎のみを供試材料とした．剪根処理は時期が異なる2処理を設けた．一つは1次枝梗分化開始期（冷温処理17日前）に根の総量の75%を目安として根元から切除した区（剪根A），もう一つは花粉母細胞形成期（冷温処理4日前）に剪根処理Aと同じように根を切除した区（剪根B）である．剪根A，Bともに処理後常に根の生長状況を調査し，新しい根が出たら速やかに切除した．剪根とは別に，呼吸阻害剤であるアジ化ナトリウム（NaN_3）と硫化ナトリウム（Na_2S）を1次枝梗分化開始期（冷温処理17日前）から根に処理した．アジ化ナトリウム処理は10^{-7}M，硫化ナトリウム処理は3×10^{-6} Mになるよう水耕液に投与し，培養液の交換に伴って1週間に1回更新した．生長の平均的な個体における特定穎花の小胞子初期を顕微鏡により確認し，昼17 ℃－夜12 ℃（昼：06：00～18：00）の自然光ファイトトロンで5日間処理した．処理開始時に葉緑素計を用い，葉色（SPAD値）を測った．また別の個体を用いて冷温処理開始日に19：00～21：00の出液量を常法により各処理とも同時に測定した．そして同じ個体の根と葉茎穂の乾物重を計った．登熟後に収穫し各区の特定穎花の受精率を測定した．冷温処理区では，葉耳間長で2 cm区間ごとに受精率を算出し，最低値の区間とその左右区間，計3区間の平均値をその実験区の受精率とした．各測定当たりの個体数は12～18であった．

土壌へのグルコース処理が耐冷性に及ぼす影響：供試品種は，耐冷性が極強のひとめぼれ（佐々木 1995）と耐冷性がやや弱のササニシキを用いた．4 Lのプラスチックポットに沖積水田土壌を詰め，催芽種子を円形20粒播きし（佐竹 1972），屋外で栽培した．施肥は基肥で，被覆尿素肥料（LP 100）を用い窒素成分でポット当たり0.25 gとした．分げつは出現後直ちに除去して主茎のみを供試材料とした．1次枝梗分化開始期から10 g L^{-1}のグルコース水溶液でグルコースが0.5 g/ポット（低レベル），1.5 g/ポット（高レベル）となるよう土壌に施与した．冷温処理および受精率の算出は剪根および呼吸阻害剤処理と同様に行った．また別の個体を用い，小胞子初期に根と葉茎穂に分けて通風乾燥し，乾物重を測定した．なお，各測定の個体数は15～25であった．

結　果

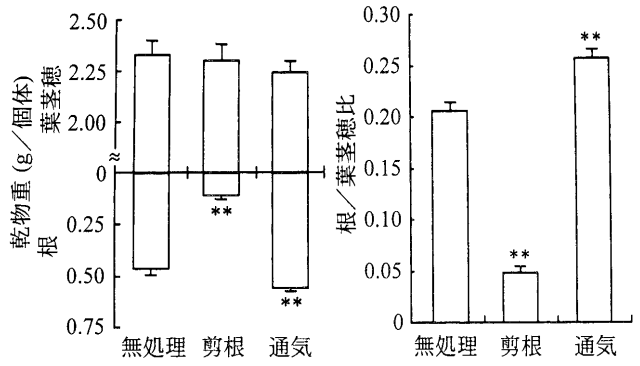
第1実験（1998年）

危険期直前すなわち冷温処理開始直前の花粉母細胞形成期に，地上部に対する相対的根量を減少させるために，根量の75%を切除する剪根処理，反対に相対的根量を増加させるために分げつ切除処理を行った．さらに，相対的根量や根の生理的活性を増加させる目的で移植期からの長期通気処理を行った．

剪根処理と通気処理による根，葉茎穂の乾物重および根/葉茎穂比の変化を第1図に示した．剪根処理区の根の乾物重は無処理区の23.3%で，75%剪根という予定通りの処理が行われた．相対的根量を示す根/葉茎穂比は，剪根処理により大きく変化し，無処理の23.7%まで減少した．通気処理により，根の乾物重は19.7%増加し，根/葉茎穂比は有意に増加した．

茎切断部からの出液速度は根の活性を示す簡易かつ有効な方法として考えられている（山口ら 1995）．第2図には剪根，通気，分げつ切除処理が冷温処理開始時の出液速度

NII-Electronic Library Service



第1図 剪根，通気処理が葉茎穂，根の乾物重および根/葉茎穂比に及ぼす影響（1998）．
剪根は花粉母細胞分化期から，通気は移植から処理．
**：1%水準で無処理に対して有意差あり．縦棒は標準誤差を示す．

第1表 剪根，通気および分げつ切除処理が1穂穎花数に及ぼす影響（1998）．

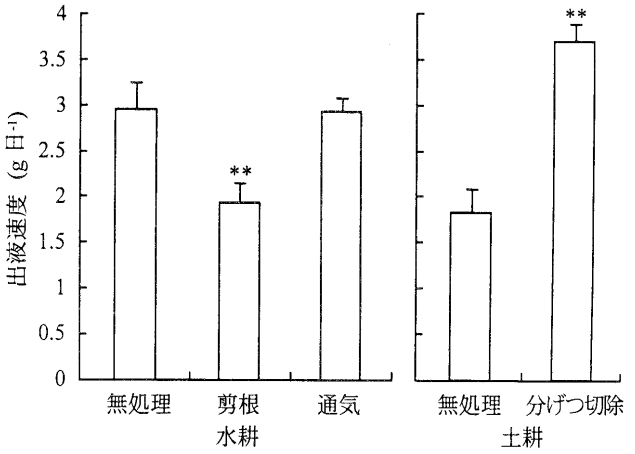
栽培方法	処 理	常温区	冷温区
水耕	無処理	124.2±6.3	122.1±3.8
	剪根	124.8±5.4	117.9±5.5
	通気	129.4±7.6	118.3±3.4
土耕	無処理	144.5±4.7	129.8±5.0
	分げつ切除	141.8±9.2	131.6±3.7

剪根は花粉母細胞分化期から，通気は移植から処理．
水耕，土耕ともにそれぞれの処理は無処理に対して5%水準で有意差なし．表中の値は平均値±標準誤差．

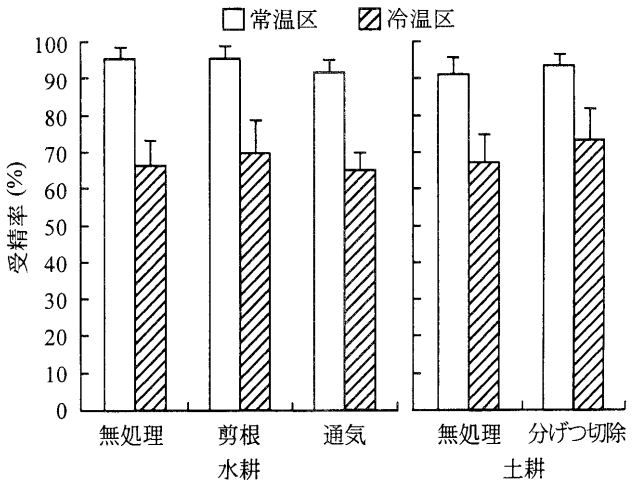
に及ぼす影響を示した．花粉母細胞形成期の剪根処理により冷温処理開始時の出液速度は有意に減少したが，その減少程度は切除した根量ほどには至らなかった．通気処理により出液速度は変化しなかった．花粉母細胞形成期における分げつ切除処理により主茎の出液速度は101.5%も増加した．

これらの処理が1穂穎花数に及ぼす影響を第1表に示した．常温区の場合，処理による影響は見られず，水耕の場合（剪根，通気処理実験）はおよそ120，土耕の場合（分げつ切除実験）はおよそ140であった．冷温区では1穂粒数が常温区に比べてわずかに減少する傾向が見られたが，有意ではなかった．また，イネの発育には各処理による異常な影響は認められなかった．

各処理が常温区および冷温区の受精率に及ぼす影響を第3図に示した．常温区の各処理の受精率はすべて90%以上で高い値を示したので，受精は正常に行われたと考えられた．すべての処理区で冷温区の受精率は常温区に比べて30%程度減少したが，処理による受精率の低下程度に違いは認められなかった．以上より，冷温処理直前の花粉母細胞形成期における根の相対的量を変化させるような処理はイネ穂ばらみ期耐冷性に影響しなかったことになる．



第2図 剪根，通気および分げつ切除処理が茎当たりの出液速度に及ぼす影響（1998）．
剪根，分げつ切除は花粉母細胞分化期から，通気は移植から処理．
**：1%水準で無処理に対して有意差あり．縦棒は標準誤差を示す．



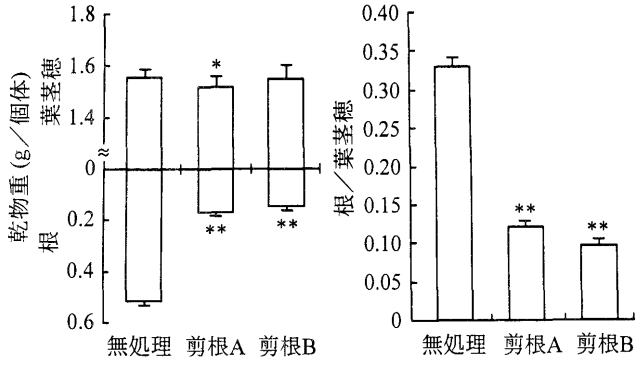
第3図 剪根，通気および分げつ切除処理が受精率に及ぼす影響（1998）．
処理開始期は第2図と同じ．常温区，冷温区ともにそれぞれの処理は無処理に対して5%水準で有意差なし．縦棒は標準誤差を示す．

第2実験（1999年）
時期別の剪根処理が耐冷性に及ぼす影響

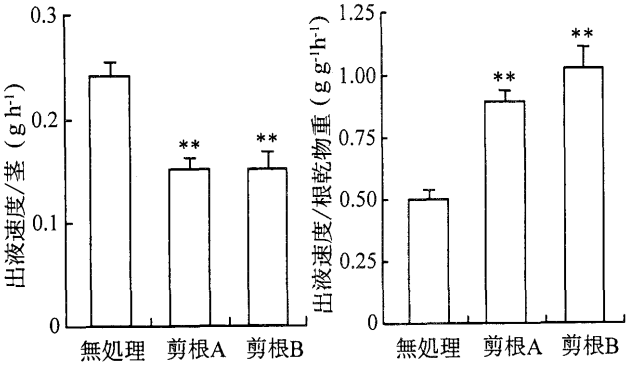
実験1では冷温に遭遇した時点（危険期）での根の相対的量や生理的活性が耐冷性と関係するという仮説のもとに行ったものであるが，その関係を証明することはできなかった．実験2では，危険期以前の根の相対的量や生理的活性と耐冷性の関係を明らかにするために，危険期直前の処理に加え，もっと前の発育段階である1次枝梗分化期の処理も行い，耐冷性の変化を調査した．

1次枝梗分化開始期（剪根A）と冷温処理直前の花粉母細胞形成期（剪根B）の二つの時期別剪根処理が根，葉茎穂の乾物重および根/葉茎穂比に及ぼす影響を第4図に示した．剪根Aと剪根Bの根重は無処理区の約25%で，

NII-Electronic Library Service



第4図　時期別剪根処理が乾物重および根/葉茎穂比に及ぼす影響（1999）.
剪根Aは1次枝梗分化開始期から，剪根Bは花粉母細胞分化期から処理.
*，**：それぞれ5%，1%水準で無処理に対して有意差あり．縦棒は標準誤差を示す.



第5図　剪根処理が茎（左）および根乾物重（右）当たりの出液速度に及ぼす影響（1999）.
処理開始期は第4図と同じ.
**：1%水準で無処理に対して有意差あり．縦棒は標準誤差を示す.

第2表　剪根および呼吸阻害剤処理がイネの生育に及ぼす影響（1999）.

処理	危険期葉色(SPAD値)	最終稈長(cm)	常温区		冷温区	
			穎花数	1次枝梗数	穎花数	1次枝梗数
無処理	36.4±0.6	80.5±0.7	107.3±2.1	8.9±0.2	93.4±1.9	8.6±0.1
剪根A	37.3±0.5	71.2±1.3**	80.8±2.4**	8.4±0.3	73.8±1.6**	8.5±0.1
剪根B	36.5±0.3	68.4±0.9**	86.1±3.9**	8.7±0.3	75.1±1.6**	8.7±0.3
NaN_3	37.6±0.5	78.3±1.1	106.9±3.8	8.5±0.2	91.6±1.9	8.2±0.1
Na_2S	36.0±0.6	79.5±0.8	108.6±5.8	9.2±0.2	93.5±1.8	9.0±0.1

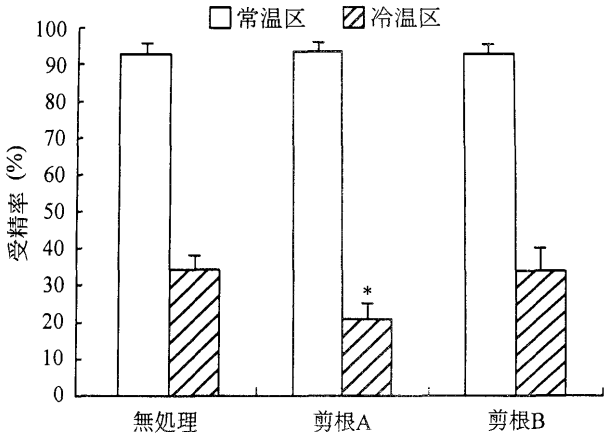
剪根A，NaN_3，Na_2S処理は1次枝梗分化開始期から，剪根Bは花粉母細胞分化期から処理．穎花数，1次枝梗数は1穂当たりの値.
**：1%水準で無処理に対して有意差あり．表中の値は平均値±標準誤差.

75%切除を目安としたので，予定通り処理されたことになる．根/葉茎穂比は剪根処理により無処理区の1/3程度まで減少した.

第5図には剪根処理が冷温処理開始時の出液速度に及ぼす影響を示した．剪根A，剪根Bともに茎当たりの出液速度はほぼ同じ程度まで有意に減少した．これに対して単位根重当たりの出液速度は剪根により倍程度に増加しており，根の切除程度ほど茎当たりの出液速度は低下しなかった.

剪根処理がイネの生育に及ぼす影響を第2表に示した．剪根処理により葉色は変化しなかったが，剪根A，剪根Bともに最終稈長は無処理区に比べて10 cm程度低くなった．冷温区の各処理では1穂粒数が10～15程度減少し，常温下に比べて白ふが多く見られた．常温区，冷温区ともに1穂粒数は剪根により著しく減少し，剪根時期が早い剪根Aの方は剪根時期が遅い剪根Bよりも減少程度が大きかった．1次枝梗数は冷温処理や根への各処理によりあまり変化しなかったので，剪根は2次枝梗の分化を減少させたことになる.

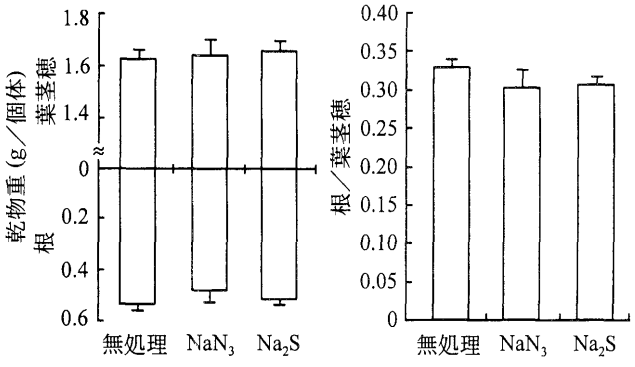
時期別の剪根処理が受精率に及ぼす影響を第6図に示した．常温区の受精率はすべて90%以上の高い値を示し，



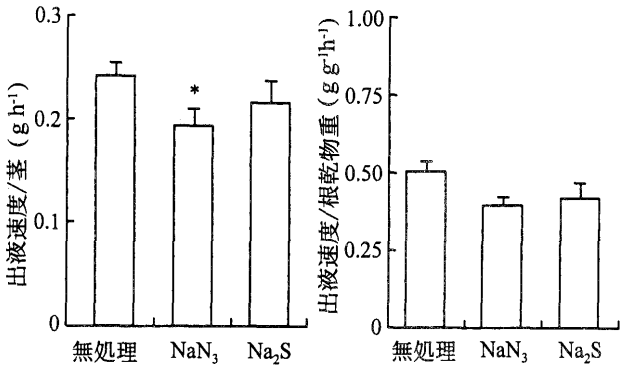
第6図　剪根処理が受精率に及ぼす影響（1999）.
処理開始期は第4図と同じ.
*：5%水準で無処理に対して有意差あり．縦棒は標準誤差を示す.

剪根処理による穂の受精の異常は見られなかった．これに対して，冷温区の各処理区の受精率は40%以下となった．処理別にみると，剪根Bでは無処理区とほとんど同じであったが，剪根Aでは有意に低下した.

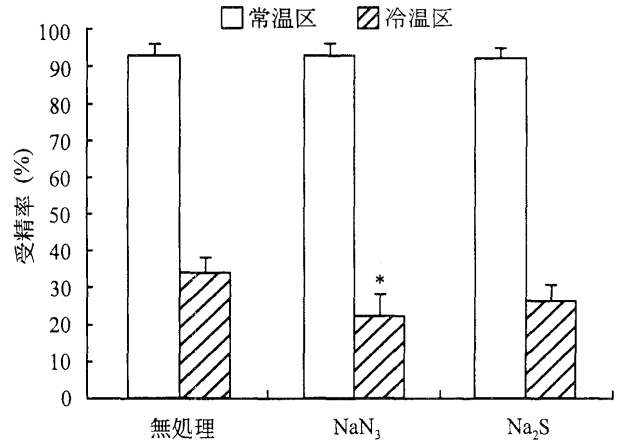
NII-Electronic Library Service



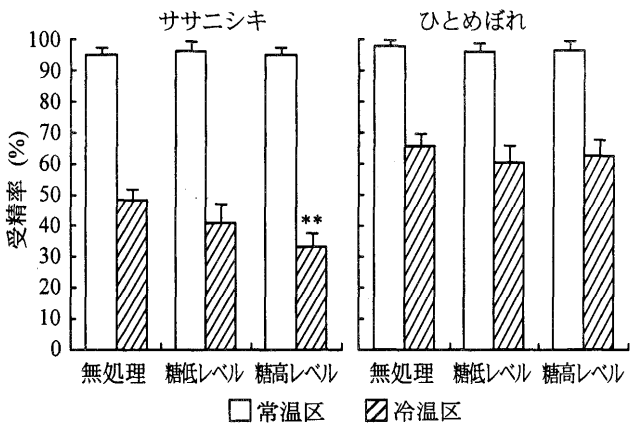
第7図 呼吸阻害剤処理が葉茎穂，根の乾物重および根/葉茎穂比に及ぼす影響 (1999).
処理は1次枝梗分化開始期から開始.
それぞれの処理は無処理に対して5%水準で有意差なし.
縦棒は標準誤差を示す.



第8図 呼吸阻害剤処理が茎（左）および根乾物重（右）当たりの出液速度に及ぼす影響 (1999).
処理開始期は第7図と同じ.
*:5%水準で無処理に対して有意差あり．縦棒は標準誤差を示す.



第9図 呼吸阻害剤処理が受精率に及ぼす影響 (1999).
処理開始期は第7図と同じ.
*:5%水準で無処理に対して有意差あり．縦棒は標準誤差を示す.



第10図 土壌へのグルコース処理が受精率に及ぼす影響 (1999).
処理は1次枝梗分化開始期から開始.
**:1%水準で無処理に対して有意差あり．縦棒は標準誤差を示す.

根の呼吸阻害剤処理が耐冷性に及ぼす影響

イネ穂ばらみ期耐冷性に及ぼす根の働きを検討するには，相対的根量だけではなく，生理的活性も考慮しなければならない．そこで，根の呼吸を阻害する方法を採用した．第7図には1次枝梗分化開始期からの根へのアジ化ナトリウム処理と硫化ナトリウム処理が乾物重および相対的根量に及ぼす影響を示した．両呼吸阻害剤は危険期における根と葉茎穂の乾物重にほとんど影響しなかった．根/葉茎穂比をみると，各処理でわずかに減少したが，有意ではなかった．従って，呼吸阻害剤処理は根量に対しほとんど影響しなかったことになる．

呼吸阻害剤処理が出液速度に及ぼす影響を第8図に示しており，1次枝梗分化開始期からの根へのアジ化ナトリウム処理により茎当たりの出液速度が低下した．硫化ナトリウム処理でも出液速度は低下したが，有意ではなかった．単位根重当たりの出液速度は，アジ化ナトリウム処理と硫化ナトリウム処理により減少したが，有意ではなかった．

1次枝梗分化開始期からの根への呼吸阻害剤処理はイネの葉色および稈長などには影響せず，正常な生長状態が認められた．常温区，冷温区ともに穂の大きさや，1次枝梗数などは呼吸阻害剤処理によりほとんど変化しなかった (第2表).

第9図には1次枝梗分化開始期からの根への呼吸阻害剤処理が受精率に及ぼす影響を示した．常温区の受精率は無処理区，処理区ともに90%以上の高い値を示し，正常な受精が認められた．冷温区では受精率がいずれも40%以下となり，アジ化ナトリウム処理区では冷温による受精率が無処理区に比べて有意に低下した．硫化ナトリウム処理でも同様な傾向が認められたが，有意ではなかった．以上より，1次枝梗分化期からの根の呼吸阻害剤処理は穂ばらみ期耐冷性を低下させる効果があることが認められた.

土壌へのグルコース処理が耐冷性に及ぼす影響

水耕実験の結果の検証として，また，根の生理的活性を阻害する処理に対する耐冷性の反応の品種間差を検討する目的で，土壌へのグルコース処理を設置した．1次枝梗分

NII-Electronic Library Service

第3表　根における各処理の耐冷性に対する効果のまとめ（ササニシキ）.

実験年度	処　理	処理時期	効果の有無
1998	剪根	花粉母細胞分化期	無
	分げつ切除	花粉母細胞分化期	無
1999	剪根A	1次枝梗分化開始期	有
	剪根B	花粉母細胞分化期	無
	NaN_3	1次枝梗分化開始期	有
	土壌へのグルコース施用	1次枝梗分化開始期	有

化開始期からの土壌へのグルコース処理が受精率に及ぼす影響を第10図に示した．ササニシキ，ひとめぼれともに常温区の受精率は95%以上で，正常な受精を行ったことを示した．冷温区では，耐冷性が弱いササニシキの受精率がグルコース処理により低下する傾向が認められ，とくに高レベルの処理では，有意な低下が認められた．耐冷性が強いひとめぼれの冷温区の受精率は，各処理区とも，ササニシキに比べて15%以上高かった．また，グルコース処理によりほとんど変化しなかった．

以上第1，第2実験における各処理の効果をまとめると第3表のようになった．1次枝梗分化開始期頃から根の相対的量や生理的活性を制限すると，イネの穂ばらみ期耐冷性が低下するが，危険期直前の処理はイネの穂ばらみ期耐冷性に影響しないことが明らかとなった．

考　察

剪根は根量を減少させる最も直接的かつ有効な方法と考えられた．本研究では剪根量は全体の75%に設定した．75%という値は予備実験から設定した値であり，植物体が萎凋しない最大限の剪根程度である．第1実験（1998年）では，危険期直前すなわち冷温処理開始期直前の花粉母細胞形成期に剪根処理を行ったが，生育に対するとくに異常な影響も見られなかった（第1図，第1表）．根の生理的活性を示すと考えられる出液速度（山口ら 1995）は，剪根程度までとはいかないが，明らかに減少した（第2図）．しかしながら，穂ばらみ期冷温処理区の受精率に対する影響は観察されなかった．

反対に相対的根量や生理的活性を増加させる処理として，移植期からの長期の通気処理あるいは花粉母細胞形成期に分げつ切除処理を行った．通気処理は水耕液の中の酸素濃度を高め，根の生長を促進すると考えられた．実際，処理により根の乾物重と相対的根量（根/葉茎穂）は増加したが（第1図），出液速度が増加するまでには至らず（第2図），根の生理的活性は変化しなかったと推定された．よって，穂ばらみ期冷温処理による不受精発生に対する影響が観察されなかったのも（第3図），当然かも知れない．分げつ除去処理では，すべての分げつを一斉に除去し，主茎のみを残した．これにより，主茎1本に対する相対的根量や生理的活性は明らかに増加すると考えられ，実際に主茎の出液速度を測定してみると，2倍以上に増加した（第2図）．しかし，穂ばらみ期冷温処理区の受精率は変化しなかった（第3図）．したがって，第1実験結果からは，根と耐冷性の因果関係は得られなかったことになる．

第2実験（1999年）における1次枝梗分化開始期の剪根（剪根A），花粉母細胞形成期の剪根（剪根B）により明らかに地上部に対する相対的根量が減少した（第4図）．また，両剪根により根乾物重当たりの出液速度は増加したものの，茎当たりの出液速度は明らかに減少したことから（第5図），根全体の生理的活性は減少したことになる．第一実験と同様，剪根による植物体の異常な生育は見られなかった（第4図，第2表）．また，1次枝梗分化開始期からの根へのアジ化ナトリウムおよび硫化ナトリウムの両呼吸阻害剤処理では，剪根同様，植物体の異常な生育は見られなかったが（第7図，第2表），出液速度（第8図）が有意に減少したことから，根の生理的活性が抑制されたことが認められた．穂ばらみ期冷温処理区の受精率は，花粉母細胞形成期の剪根では第1実験同様変化しなかったのに対して，もっと前の生育段階である1次枝梗分化開始期の剪根では有意に低下し（第6図），その段階からの根への呼吸阻害剤処理でも穂ばらみ期冷温処理区の受精率（第9図）は減少する傾向が認められ，とくにアジ化ナトリウム処理では有意に減少した．また，土壌へのグルコース処理でも，冷温処理区の受精率は無処理区により低下し，その程度は高レベル処理で大きかった（第10図）．炭水化物は土壌中の微生物により発酵され，土壌の還元性を高め，根の生理的活性を抑制すると考えられる（Jiangら 1994）．本実験では，生理的活性に関わる項目は測定しなかったが，Jiangらの結果より，処理により根の生理的活性が減少することが推測される．以上の効果を纏めると，第3表のようになり，冷害危険期のかなり前の段階からの根の相対的量や生理的活性が耐冷性に影響することが明らかとなった．

林ら（1998）は穎花分化期からの多窒素条件下では花粉数だけではなく小胞子数も減少することを示した．さらに，立田（1999）は窒素の施肥時期を変えて，常温下の葯長と充実花粉数に及ぼす影響を観察した．そして，基肥を増やした場合，また幼穂形成期に追肥した場合には葯長と充実花粉数は減少するが，減数分裂期すなわち冷害危険期の追肥は影響がないことを明らかにした．このことは，危険期よりも前の多窒素が耐冷性を低下させることを意味する．つまり，本実験の剪根処理と同じような反応である．幼穂形成期窒素追肥の耐冷性への影響が相対的根量を通じて行われるという証拠は今のところないが，少なくとも基肥の多窒素は地上部に対する相対的根量の減少を通じて耐冷性に影響すると考えられる（張ら 2000）．以上のことより，相対的根量および根の生理的活性は花粉数の変化を通

NII-Electronic Library Service

じて耐冷性に影響を及ぼすと推察され，これらの形質は，冷温に遭遇した状況下で直接に耐冷性に影響するのではなく，それ以前に，例えば，花粉の形成過程への影響を通じて耐冷性に影響する可能性が示唆された．

土壌へのグルコース処理では，耐冷性がやや弱のササニシキ，極強のひとめぼれともにグルコース処理により冷温区における受精率が減少する傾向が見られ，その程度はササニシキの方が大きく，とくに高レベル処理では有意に減少した（第10図）．前報（張ら 2000）では，耐冷性が強いひとめぼれの方は耐冷性が弱いササニシキよりも，相対的根量と耐冷性の相関直線の傾きが緩やかであることを示した．つまり，耐冷性の強いひとめぼれの方が根の相対的量や生理的活性の変化に対する冷温感受性の反応が鈍感であることを示しており，本実験の結果と一致すると考えられる．一般に耐冷性の強い品種は弱い品種よりも根の生理的活性と考えられる出液速度が大きく（Yamamoto and Nishimura 1986），葯当たりの充実花粉数も多い傾向がある（Nakamura ら 2000）．また，前述したように多窒素は相対的根量を減少させ（張ら 2000），花粉数も減少させる（林ら 1998，立田 1999）ことから，根の相対的量や生理的活性は花粉数を通じて耐冷性に影響するとも考えられる．従って，根の相対的量や生理的活性の変化に対する冷温感受性の反応が耐冷性の強い品種が鈍感である理由は，充実花粉数がもともと多いために，冷温処理下でも受精に必要な花粉数が維持されやすいためと考えられた．今後，根の相対的量や生理的活性と花粉数の関係を明らかにする必要がある．

Satake ら（1987）は穎花分化期から危険期までの多窒素が耐冷性を低下させることを報告した．多窒素は地上部に対する相対的根量を減少させることによって（張ら 2000）耐冷性に影響したと考えると本実験結果に一致する．しかしながら，穎花分化期から花粉母細胞分化期の間は1週間ぐらいしかない．この短期間の多窒素は相対的根量を変化させない可能性もある．また，変化させたとしても，多窒素が相対的根量以外の要因を通じて，例えば植物ホルモンの変化などを通じて耐冷性に影響する可能性も否定できない．なぜなら，窒素はジベレリンレベルに影響し（Osada ら 1973，高橋 1979），ジベレリンは耐冷性に影響するからである（Nishiyama 1975，馬場ら 1985，吉岡・菅 1996）．今後，窒素，根，植物ホルモンの耐冷性決定における役割およびそれらの相互関係を明らかにする必要があると思われた．

謝辞：本論文の取りまとめに際して，貴重な御意見と御校閲を頂いた東北大学大学院農学研究科国分牧衛教授に深く感謝いたします．

引用文献

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

天野高久 1984b. 水稲の冷害に関する作物学的研究. 北海道立農試報告 46：1—67.

馬場赳・田辺猛・玉井富士雄・元田義春 1985. 水稲の耐冷性に関する生理生態的研究. 第2報 植物ホルモンと耐冷性との関係. 日作紀（別1）：262—263.

林高見・柏原一成・奈良吉主・千葉雅大・井出雅弘・山口知哉・小池説夫 1998. 多窒素水耕栽培イネの冷温による不稔発生と花粉数との関係. 第2報 リン酸の影響. 日作紀 67(別1)：92—93.

Jiang D. A., T. Hirasawa and K. Ishihara 1994. Depression of photosynthesis in rice plant with low root activity following soluble starch application to the soil. Jpn. J. Crop Sci. 63：531—538.

Mae, T. and K. Ohira 1981. The remobilization of nitrogen related to leaf growth and senescence in rice plants (*Oryza sativa* L.). Plant Cell Physiol. 22：1067—1074.

森田茂紀 1998. 農家水田で栽培した水稲の出液速度の生育に伴う推移および日変化. 日作紀 67（別2）：50—51.

Nakamura T., M. Chiba, S. Koike and I. Nishiyama 2000. Number of pollen grains in rice cultivars with different cool-weather resistance at the young microspore stage. Plant Prod. Sci. 3：299—305.

Nishiyama, I. 1975 Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XI Effects of some substances on sterility. Jpn. J. Crop. Sci. 48：397—402.

西山岩男 1985. イネの冷害生理学. 北海道大学図書刊行会，札幌. 1—15.

西山岩男 1997. イネの穂ばらみ期耐冷性に関与している生理的形質. 農及園 72：335—343.

Osada, A., H. Suge, S. Shibukawa and I. Noguchi 1973. Changes of endogenous gibberellins in rice plants as affected by growth stage and different growth conditions. Jpn. J. Crop. Sci. 42：41—45.

小山田善三 1995. 東北地方における1993年の水稲冷害. 日作紀 64：166—171.

小沢聖 1994. 大冷害と気候変動期の農業. 農業環境技術研究所，つくば. 27—39.

作井英人 1994. 平成5年冷害における稲作被害の軽減要因. 農及園 69：233—242.

佐々木一男・和田定 1975. 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.

佐々木武彦 1995. 水稲耐冷性育種技術の開発と良食味・耐冷性品種「ひとめぼれ」の育成. 農業技術 50：54—57.

佐竹徹夫 1972. イネポット栽培の改良法—生育時期の揃った穂を得るために—. 日作紀 41：361—362.

Satake, T., S. Y. Lee, S. Koike, and K. Kariya 1987. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXVII Effect of water temperature and nitrogen application before the critical stage on the sterility induced by cooling at the critical stage. Jpn. J. Crop Sci. 56：404—410.

高橋信孝 1979. イネ科植物における植物生長調整物質の生理的役割に関する研究. 昭和54年度農水産業特別試験報告書. 20.

高城哲男 1995. 被害の実態調査結果と技術上の問題点，青森県，栽培の動向と優良事例. 東北地域における平成5年冷害の記録. 東北農試，盛岡. 24—30.

NII-Electronic Library Service

立田久善 1999. 水稲の耐冷性関連形質としての葯長, 葯幅および充実花粉数に及ぼす施肥窒素の影響. 日作紀 68 : 187—193.
山口武視・津野幸人・中野淳一・真野玲子 1995. 水稲茎基部からの出液速度に関する要因の解析. 日作紀 64 : 703—708.
Yamamoto, T. and M. Nishimura 1986. Relation between the tolerance to the sterility type of cool injury and the amount of bleeding water in rice plants. Japan. J. Breed. 36 : 147—154.
吉岡藤治・菅洋 1996. イネ（*Oryza sativa* L）の冷温処理による種子稔性の低下と穂における内生ジベレリンとの関係. 育雑 46 : 173—178.
張祖建・中村貞二・千葉雅大・西山岩男 2000. イネの穂ばらみ期不受精耐冷性と相対的根量の相関関係. 日作紀 69 : 175—181.

Effects of the Amount and Activity of Roots on the Cool-Weather Resistance in Rice Plants : Zujian ZHANG*, Teiji NAKAMURA and Iwao NISHIYAMA (*Grad. School of Agric. Sci., Tohoku Univ., Sendai 981-8555, Japan*)

Abstract : Previously, we reported that the amount or activity of the root relative to shoot was an important factor relating to the sterility caused by cool temperatures. To elucidate the causal relationship between the relative amount or activity of roots and the cool-weather resistance, we modified the amount or activity of roots experimentally. When about 75% of roots or all tillers were cut off at the pollen mother cell formation stage just before the young microspore stage, there was no reduction in the fertility of the plants cooled at the young microspore stage. However, the fertility of the cooled plants was significantly reduced by the root cutting at the primary rachis branch differentiation stage, and also by the treatment of roots with a respiratory inhibitor or addition of glucose to the pots, which was expected to reduce the root activity through a reduction of soil. These results indicated that there was a causal relationship between the amount or activity of roots and the cool-weather resistance. In addition, the cool-weather resistance was reduced by the root cutting at the primary rachis branch differentiation stage but not by similar treatment given just before the critical (cool-weather sensitive) stage. These facts suggest that the root does not affect the cool-weather resistance at the critical stage, but affects it at a stage earlier than the critical stage, for example, through the effect on the process of pollen formation.

Key words : Booting stage, Cool-weather damage, Cool-weather resistance, Rice, Root.

書評

「最新 日本の酒米と酒造り」前重道雅・小林信也 編著. 養賢堂，東京．2000 年，319 頁，4000 円．

本書は題名通り日本の酒米と酒造りについての最新の技術・研究成果を各分野の現場の研究者・技術者がまとめた専門書である．また，技術論だけでなく，新聞記者による海外における日本酒事情の紹介や，エッセイストによるエッセイも含まれており，単なる技術的専門書と一線を画す内容となっている．従来，作物学や育種学の教科書で酒米が大々的に取り上げられることはなかった．その酒米を堂々と主役に据えた本書は画期的である．

本書は序章，終章を含めて 6 章で構成されている．序章「酒米研究開発への期待」では醸造原料としての酒米の特徴を他の醸造原料との比較から描き，今後の酒米研究の道筋を示している．第 1 章「伝承品種と栽培技術」では山田錦，五百万石といった主要な品種についての解説と，心白が鮮明で，粒が大きく，タンパク質や脂肪が少ないという酒造好適米の特性を引き出す栽培方法が述べられている．第 2 章「全国の酒造米品種開発」では，酒米品種育成の歴史，醸造適性の遺伝，最近育成されたばかりの酒米新品種の解説がなされている．特に新品種の紹介記事からは酒米育種現場の熱気が感じられ，山田錦より醸造適性の優れた品種が近い将来に出来るだろうという主張にも思わず頷いてしまう．今後の育種の方向性として，吟醸酒用，純米酒用，本醸造酒用，普通酒用などの製品別，あるいは麹用，酒母用，掛米用などの用途別の品種の必要性が示されている．第 3 章「酒造技術研究と新処理技術」では酒米の醸造・精米適性，酵母の開発，水質，醸造技術，精米技術といった醸造技術全般について述べられている．第 4 章「酒造米と酒の流通動向」では，農家や酒造メーカーの経営，酒造米と酒の流通について解説されている．さらに，海外での日本酒事情も述べられている．終章「日本の杜氏論」では，飲む立場から，日本酒は日本の文化であり，人生を豊かにしてくれるということが述べられている．日本酒が各分野の専門家の英知を結集して作られているということを理解した後だけに，「日本酒は日本の文化だ」という主張は素直に受け入れることができる．

本書は多方面にわたる技術的専門書であるため，評者のような門外漢にはなじみのない専門用語が散見され，正確には理解できない箇所もあった．簡単な用語解説があればより深く理解できたと思う．本書は酒米・酒造りの最新の研究成果が網羅されているため，酒米の育種・栽培研究に携わっている研究者に特にお勧めである．また，酒米が育成・栽培され，醸造されて日本酒となり，消費者の口に入るまでの流れが概観できるという点では，普段，主食用水稲を研究対象としている研究者やもっぱら日本酒を飲むことに関心がある人にも興味深く読める．さらに，索引が専門用語と品種名，人名で整理されているため，調べものにも便利である．

本書の編集者の一人，前重道雅氏が編集した「稲作の技術革新と経営戦略　—21 世紀を見すえて—」（養賢堂，1996 年，236 頁，3400 円）においては，酒米育種は西日本におけるコメの高付加価値化研究の一つの重要な方向として位置づけられている．本書と合わせて参考にされるとよい．

（中国農業試験場　白土宏之）

NII-Electronic Library Service