

イネ (3)

冷害解析

誌名	日本作物学会東北支部会報
ISSN	09117067
著者名	小池,説夫
発行元	日本作物学会東北支部
巻/号	50号
巻号補足	
掲載ページ	p. 21-25
発行年月	2007年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



イネ 3) 冷害解析

小 池 説 夫

(独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター)

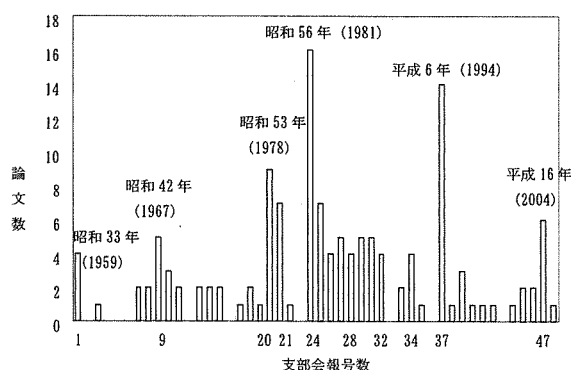
Rice 3) Analysis of Cool Temperature Damages

Setsuo KOIKE

(National Agricultural Research Center for Tohoku Region,
NARO, Morioka, 020-0198, Japan)

第1表 作況指数から見た東北の冷害年

冷害年	東北全体	青森県	岩手県	宮城県	秋田県	山形県	福島県
昭和51年(1976)	90	91	82	90	95	92	89
昭和55年(1980)	78	47	60	79	99	97	74
昭和56年(1981)	85	65	76	88	88	92	94
昭和57年(1982)	96	99	89	91	103	97	94
昭和63年(1988)	85	84	85	75	93	92	76
平成03年(1991)	95	87	90	90	94	92	94
平成05年(1993)	56	28	30	37	83	79	61
平成15年(2003)	80	53	73	69	92	92	89



第1図 冷害解析分野の掲載論文数の変遷

1. 概 括

冷害の分野の論文は、冷害年の翌年に発表が相次ぐ。戦後の冷害年としては、昭和29年(1954)・昭和51年(1976)・昭和55年(1980)・平成5年(1993)・平成15年(2003)が特記される(第1表)。支部会報創刊の昭和33年(1958)年からの3年間は、鳥山らの研究報告が5報あるが、その後しばしの空白期間を経て昭和40年代に入る頃からやませ地帯を中心とした冷害に関連する研究報告が恒常的に発表されるようになる。特に、第20号(1978)からの10年間には、昭和55年冷害の翌年の16編の発表を含み、67編の発表があった(冷害解析の論文数の49%)。平成5年の大冷害の翌年には14編の発表があった(第1図)。冷害研究に重点が置かれてきた藤坂の研究グループの「水稻冷害の実験的研究」シリーズの発表は東北支部報に23編を数える。耐冷性検定法・耐冷性品種の関連では、冷害研究の中で歴史的な意義を持つ論文が掲載されている。特に、古川農試の研究グループによる恒温深水水槽を用いた耐冷性検定法に関する論文や耐冷性品種系統の系譜に関する論文は東北支部会報が発表の舞台となっている。

2. 冷害年

昭和51年青森県では出穂が大幅に遅延し、穂の開花終了に10~12日を要した(浪岡ら, '78, 2041)。昭和55年の同県では7・8月の低温による障害型の大冷害であったが、アキヒカリが高率(83%)に作付けされたことも一因となった(佐々木(信), '88, 3109)。岩手県では作況指数は60という昭和9年以来の被害となり、田植えから7月初めまでの好気象により栄養生長期の生育は順調であったが、穂ばらみ期障害不稔と開花遅延が複合した。沿岸・高標高地帯の被害が目立つが、内陸部では初割れ等が原因の着色粒が局部多発した(佐々木(忠)ら, '81, 2424)。宮城県では7月下旬の高温時期に穂ばらみ期を経過したササニシキは決定的な被害を回避したが、東北地方で栽培されている品種が過去の品種に比べて不稔歩合が高いこと、不稔歩合の低い品種や系統の交配親にはコシヒカリやトドロキワセが親である場合が多いことが初めて明らかになった(佐々木(武)ら, '81, 2415)。昭和56年青森県では遅発分げつが多く出穂・登熟も遅滞したことや基肥の増肥のため、気象的には厳しかった昭和51年に比べて減収程度は非常に大きかった。多窒素により不稔が増加し

て玄米重・品質の低下が大きくなった（高館ら，'82, 2513）。岩手県では作況指数が76で昭和55年に次ぐ低収となった。原因は、移植期・活着期・分けつ期にわたる連続的な低温と少照による大幅な出穂遅延と、台風による風水害に加え登熟期間の天候不良が登熟歩合・収量・品質の低下に結びついた（畠山・佐々木(忠)，'82, 2509）。平成5年の岩手県では平均収量は152kg/10aとなり、県の作付けの60%を占める北上川流域は昭和55年でも作況指数72であったのが34までに低下し、出穂遅延は11日～15日に及び、出穂盛期は8月下旬となった。障害不稔は内陸部でも60%以上、北部や山間部では90%以上の地域も見られた（高橋・伊五沢，'94, 3714）。あきたこまちの不稔率は84.5%であったが、深水灌漑圃場では22.5～38.1%で深水管理の効果が明らかとなった。7・8月の平均用水温は17.9℃であり、普段に比較して1.5℃低く、冷害年では用水温の低下が冷害を助長する危険があった（佐川ら，'94, 3709）。宮城県の作況指数は37で、ひとめぼれはササニシキに比較すると低温下での出穂後開花遅延程度が小さいため不稔歩合が25%から35%低く、稔実した籾の登熟能力が高く割れ籾が発生しにくかった（佐野ら，'94, 3742）。山形県では作況指数は79で最上地方は56であった。最北支場では葉耳間長0の日を中心にした5日間の最低気温は16.5℃であり、耐冷性中～やや弱のどまんなかでは幼穂形成期追肥では不稔率25%・収量421kg/10a、減数分裂期追肥では不稔率42%・収量351kg/10aであり減数分裂期の追肥が不稔を増した（太田ら，'94, 3712）。平成15年は岩手県で作況指数は73（収量は387kg/10a）で平成5年の作況指数30（収量は152kg/10a）、昭和55年の作況指数60（収量は293kg/10a）に次ぐ戦後3番目に低い作柄であった。基肥窒素無施用・粗植栽培では不稔籾発生が小さく著しい減収を回避できた（黒田ら，'04, 4710）。

3. 冷害被害度評価・冷害対策

青森県では冷害対策上速やかに解明するべき技術と、普及するべき技術として6項目にまとめた（1967年）が、基本的には今日でも該当する。(1)早熟耐冷性品種の育成と普及(2)健苗育成と初期生育促進技術の確立と普及(3)病害虫の発生予察の強化・合理的防除(4)水温上昇並びに水管理の合理化(5)施肥技術の向上(6)生産基盤の改善ならびに土壤改良である（相馬・工藤，'67, 0908）。昭和29年作況指数84・収量281kgと昭和51年の作況指数91・収量504kgを比較して、(1)早熟多収品種の育成と作付面積の増加(2)移植時期が早まる(3)幼穂形成期・出穂期が早まる、というプラスの面と、(4)苗の若

齢化(5)施肥窒素量の増加(6)有機物の施用量減少(7)管理技術の粗放化とした、というマイナスの面があったが、総合的には多収となり安定してきた（小野ら，'78, 2029）。平成5年の岩手県において被害軽減に結びついた栽培技術の影響度の順位は、品種＞深水管理＞適地区分＞出穂期＞基肥窒素＞標高＞追肥回数＞穂もち防除であった。特に、深水管理は地域を問わず低温時の技術対策として重要であり、前歴深水＋危険期の深水管理の効果が高いことが示された（高橋ら，'94, 3715）。防風ネットに関しては、風下側約10mまでの減風効果と昇温効果により出穂期が早まり、不稔歩合の低下と登熟歩合の向上で増収した（下田，'81, 2427）。岩手県北部ヤマセ常襲地帯においては、玄米収量については中苗に比較して成苗およびポット苗が3～10%程度増収し被害の回避に役立った（佐々木(邦)，'87, 3024）。深水灌漑については天明時代から実施されていたことが明らかとなった（佐々木(武)，'04, 4714）。

減数分裂期に自然低温に遭遇した場合、不稔歩合が50%より大きくなるほど玄米千粒重が直線的に低下し、玄米品質は完全粒歩合が低下するとともに着色粒や半生青米粒が増大した。弱勢穎花には稔実粒が多いが疵籾歩合も多く発生する（鳥山・和田，'58, 0106）。冷水灌漑によって幼穂位置の気温が低下して、そのため幼穂自体が直接に低温の被害を受けて不稔を発生する（鳥山・蓬原，'61, 0318）。穎のヨード・ヨードカリ染色による稔・不稔の判別を行い、稔実籾の穎は必ず染色し不稔籾の穎は染色しないことを50品種・系統を用いて確認した。開花期か開花直後の穎は不受精籾の穎と同様に全く染色せず、開花後15日目前後染色が最も濃く20日目やや薄くなり40日目では全く染色しなくなる。出穂が遅れ成熟期を待たずに早期に耐冷性の判定を知る際に活用できる（浪岡ら，'76, 1813）。

水稻の減数分裂期における幼穂の位置と灌漑水深については発根部上端より20cmの水深があれば危険期にある穎花の大部分をカバーできた（本庄ら，'82, 2508）。穂首分化期5日後からの10日間および穂首分化期10日後からの5日間の処理は、19℃前歴冷温だけではほとんど不稔発生の増加はないが、穂ばらみ期の冷温処理と重なることによって、コチミノリで20～30%・アキヒカリで10～25%程度不稔歩合を増加させた。前歴冷温の影響し始める時期は穂首分化後10日～15日の間にあった（須藤ら，'86, 2915）。深水管理により上位の1次枝梗に着生している穎花の不稔歩合は顕著に改善された。強勢穎花の不稔歩合が改善されることから、株全体の不稔歩合の差以上に収量や品質に差がつくことが示唆された（荻原ら，'04, 4719）。

4. 活着・施肥・登熟

在来種・外国稲には活着力の優れた品種は少なく、活着良好品種群は草丈短く葉令の多いズングリ苗で低温下での発根量が多く葉身の枯れ込みの少ないのが特徴であった（和田ら、'72, 1408）。低温条件下における総根長の伸びについて明らかな品種間差異があり、総根長に代わる検定形質として根数を用いることができた。発根が容易な18℃と活着障害が起こる12℃での発根数の差が大きいことが示された（松本ら、'78, 2115）。成苗の活着の品種間差異は中苗や稚苗にはそのまま適応出来なく、長苗型の品種は概ね活着に不利であった（金沢ら、'78, 2121）。苗の種類による収量構成要素の差異は品種による差異に比べて大きくないが、稚苗と中苗の間には特徴的な差異があった。気象条件の厳しい地帯では、登熟歩合の高い中苗の方がやや勝った。稚苗では登熟歩合を高めることが重要であり、移植を早めて出穂を遅らせないこと、中苗では穂数および一穂着粒数の増加により多くの全粒数を確保することが要点と考えられた（田中・小林、'83, 2633）。

宮城県では減数分裂期の葉身窒素濃度よりも生育量と不稔率との相関が高く、ひとめばれでは不稔率より粒数が減収に関与したこと、同一粒数レベルの比較では初期の窒素を控え中・後期に窒素が発現する施肥法が収量的には優っていた（鶴田ら、'95, 3806）。幼穂形成期頃の多量追肥は稲体素質の急激な変化に伴って冷害抵抗性の低下が大きく、不稔発生を助長し被害を大きくしたが、減数分裂期頃の追肥では追肥量が多少増加しても被害程度が軽減された。従って、低温下における追肥時期としては減数分裂期の追肥に軽減効果がある（高城ら、'84, 2724）。岩手県北部ヤマセ常襲地帯においては、側条施肥では慣行の全層施肥に比較し初期からの生育が旺盛で分げつ発生が多く穂数・粒数が安定的に確保できる（畠山(貞)ら、'87, 3026）。冷害年における基肥窒素量は少ない方がアール当たりの粒数が減少するが、不稔粒の発生が少なく稔実粒数は増加するため収量は多くなる傾向がある（高橋(浩)ら、'94, 3743）。水稻の障害不稔に対する堆肥の施用は、同じ稲体窒素含有率になるように窒素施肥量を減じた場合には不稔を軽減できる（若宮・金谷、'96, 3919）。

障害不稔を受けた稲の玄米は、傷粒の多発生によって完全米が少なく、着色米など不良米や不整粒が多く米質低下する（福井ら、'68, 1006）。収穫時における稈内炭水化物の低いシモキタのような品種ほど低温登熟性が高く、濃度の高いふ系95号のような品種は低温登熟性が低かった（工藤・佐々木(信)、'72, 1411）。登熟は最低気温と日照に大きく影響され登熟初～中期での

感応が大きく、低気温が10℃以下であっても日照時間が一定以上あると登熟は徐々に進行する（岩崎ら、'78, 2024）。偽稔粒の発生は冷却度が大きくなると高くなり、耐冷性強・中のグループで顕著であった（大場・鈴木、'94, 3707）。

5. 冷温処理温度・処理時期

15℃10日間の低温処理後5日に出穂した場合が最も開花が遅れ、開花数歩合は45%と著しく低くなり鱗皮形成障害が開花遅延をもたらしたと推察された（鳥山・和田、'58, 0107）。水稻障害不稔における不稔歩合の簡易測定法について株平均不稔歩合を推定するには、最高穂とその下位の穂及び最低穂とその上位の4穂平均が最も好適した特定穂であった（松村ら、'67, 0906）。葉耳間長0 cmの処理では不稔発生にばらつきが出るが、止葉抽出開始に処理開始し処理温度15℃ないし17.5℃、処理日数8ないし10日間（処理中に5～6日程度伸張）の検定が最も有効であった（櫛淵ら、'71, 1314）。止葉抽出始処理では出穂順位2～4の3穂平均及び最長稈3穂平均不稔指数が不稔歩合の簡易調査法として実用性があった（櫛淵ら、'71, 1315）。10℃および12.5℃3日間の短期間冷温処理終了時の葉耳間長±0付近が最高不稔値となった（浪岡ら、'78, 2026）。低温処理の水温としては19℃や19.5℃では不稔が多すぎ、20℃が適当であった（横山ら、'86, 2913）。水深を深くすると幼穂の位置も上位に移動し、処理日数が長くなる傾向があった。処理水深を20 cmより深くすることにより耐冷性検定精度の向上は期待できるが、30 cmでも不十分であるため熟期のほかに節間長の長短も考慮に入れた基準品種を策定する必要がある（小山田ら、'91, 3412）。むつほまれの危険期穎花率が20%を超えるのは、主茎・分げつ茎ともに概ね葉耳間長－2 cmを中心に±4 cmの範囲であった（三浦ら、'99, 4211）。開花期では17℃処理では処理日数を長くすると急激に不稔が多くなり、品種間差異の認定は困難であった。18℃処理では14日間処理で品種間差異が拡大する傾向にあったが、19℃10日間処理では不稔発生が少なかった。従来の検定法である15℃7日間処理に比べて品種間差異が安定していて大きい処理は18℃14日間であった。開花期の耐冷性は穂ばらみ期よりも品種間差異が小さいと考えられた（三上ら、'86, 2914）。

6. 冷害発生機構

イネの障害型冷害のうちのタペート異常型冷害不稔は雄性不稔と同一であり、寡照多湿下短時間強度の低温による障害型冷害はイネを雄性不稔化すると推定さ

れた（渋谷，'65, 0717）。幼穂発育過程中でも夜間のみの低温は15℃ 6日間や5.1℃ 8時間でも不稔発生には影響が意外に少なかった（櫃淵，'68, 1005）。開花期処理による不稔発生は、概ね処理終了後3日間に開花した穎花で不稔が高く、穂孕期耐冷性強のヨネシロは不稔発生が多かった（高館ら，'78, 2025）。開花期の冷温処理強度と不稔発生及び花粉の発芽について13℃ 5日間・15℃ 7日間・17℃ 12日間の比較では、17℃ 12日間が最も不稔が発生し、冷温を受ける期間の長さが重要であった。花粉の発芽能力の低下に開花期の稔実障害の一原因があると考えられた（高館ら，'79, 2216）。柱頭上花粉数が1個や2個でも受精する穎花や100個ある場合でも不受精となる穎花が認められることから、不受精は花粉数低下により生ずるのでなく花粉の受精能力の低下によることが示唆された（中村ら，'04, 4712）。平成5年冷害における不稔歩合と充実花粉数との間には高い相関が認められた（斎藤・佐藤，'94, 3705）。多窒素冷温処理により柱頭上発芽花粉数は特に減少した（林ら，'02, 4531）。

7. 耐冷性検定法・恒温深水水槽

水深が8～10cm程度では不十分なため水深を20cmおよび25cmにした恒温深水水槽が考案された（松永・佐々木（武），'84, 2716）。幼穂形成期から出穂期までの穂ばらみ期に水口（17℃）から水尻（27℃）まで水温の傾斜ができるように冷水を掛け流す水温傾斜中期冷水掛け流し検定法（従来は長期冷水掛け流し処理法としていた）による検定法では、極早生・早生・中生の各熟期群内では品種の耐冷性の比較はできても異なる熟期間での比較が正確でなかった（小林ら，'84, 2717）。恒温深水水槽により東北の品種系統の耐冷性の見直しを行った結果、奨励品種の耐冷性は中程度以下のものが多く今後大幅に向上できる可能性があった（松永・佐々木（武），'85, 2822）。葉耳間長－5～－2cmの穂を15℃ 5日間処理が不適切であることから、処理時期を変えて不稔の発生曲線を検討した結果、低温の最感受性期は早生ほど早い傾向にあり、品種または熟期により不稔が最高となる時期が葉耳間長で異なることが示された（藤村ら，'85, 2824）。1系統1株植えて、その不稔歩合を立毛で達観調査する方法により、系統の選抜を省力的に行うことが出来ることが提案された。1株法により超越育種の結果、東北136号を育成することができた（松永・佐々木（武），'85, 2821）。インド型の耐冷性は蒴長や常温区の充実花粉数よりも冷温区の充実花粉数との関係が深かった。ひとめばれはインド型に比べて花粉数は多くないが強い耐冷性を示し、花粉の性

質が異なることが示唆された（山口・横上，'02, 4532）。

8. 品種変遷・耐冷性の系譜

青森県では昭和25年（1950）から藤坂5号（最高25千ha）の登場と保温折衷苗代（昭和30年より本格化）による早植栽培が普及したことが安定生産に与えた影響が大きく、トワダ（最高34千ha）・フジミノリ（昭和40年までで最高34千ha）等の品種が安定生産に貢献があった（相馬・工藤，'67, 0908）。岩手県北部地帯ではトワダやヤマセシラズが昭和30年代を中心に貢献してきたが、耐冷性といもち抵抗性などが優れた早生のフジミノリの時代となり、特に昭和40年代後半はフジミノリの寡占状態となった。フジミノリやトワダの不安定地帯にはシモキタが普及した。シモキタ・フジミノリ・レイメイの良質化としてハヤニシキが昭和50年代後半を中心に普及した。その後、コチミノリやたかねみのりが耐冷性や品質の面の重視から導入された（佐々木（邦），'87, 3023）。品種の作付けが偏り出穂期が集中していることが大きな被害を受ける危険性に繋がることが指摘された。早生種の耐冷性を強化するだけでなく、中・晩成種の耐冷性の強化が求められた。また、耐冷性品種に頼るだけでなく、危険分散を図る品種選択を可能にする育種も重要であると指摘された（滝澤ら，'92, 3522）。昭和16年の気象条件の再現実験からアキヒカリ・キヨニシキの障害不稔に対する抵抗性は昭和16年当時の品種陸羽132号より劣ったこと、藤坂区では陸羽132号は出穂遅延が著しく収穫皆無となったが、ハマアサヒ・アキヒカリでは約40%の稔実歩合となり早生品種の効果があった（古谷ら，'81, 2413）。東北地方のイネ品種の穂ばらみ期耐冷性には2つの系譜があり、1つは愛国に由来し、コシヒカリとトドロキワセの後代に耐冷性の強い品種系統が育成されていた。両者の耐冷性は農林22号に由来しコシヒカリとトドロキワセの耐冷性遺伝子は共通であると推定できた。2つめは神力に由来し、農林24号・ハッコウダ・ヨネシロ等の耐冷性の強い後代が育成されていることが示された。供試した69種のうち、2つの系譜に該当する品種は約6割あり、両系譜は東北地方における耐冷性品種の重要な遺伝子源であった。従来、高度の耐冷性と良質性とは両立しないと言われてきたが、コシヒカリのように最高の良質米の系譜が耐冷性でも最強の系譜であった（佐々木（武）・松永，'85, 2823）。恒温深水法により19℃および18.5℃水深20cmで出穂前1ヶ月の処理を行うことにより農林24号の耐冷性の系譜が神力に由来し、穂ばらみ期耐冷性が最強級の品種中母42・中母35・庄内32・トドロキワセ・清水糯・染分等の中

でも最も強く注目すべき遺伝資源と考えた（佐々木(武)ら, '88, 3106). 「神力」および「神力」の近縁品種を親として育成した品種系統のほぼすべてに当たる35種の内の8種がトドロキワセ・コシヒカリレベルかそれ以上の耐冷性であった. 農林24号やヨネシロをコシヒカリなどの他の系譜の耐冷性品種と交配すると耐冷性の著しい集積が見られた（岡本ら, '88, 3107). 国内遺伝資源の耐冷性集積により育成した高度耐冷性系統は、雲南省において雲南省の極強品種並みの耐冷性を示す

ことが確認された（松永・佐々木(武), '94, 3701). 高度耐冷性系統間の交配によるF₃系統を7月上旬から2ヶ月間水深25cm水温18.2℃F₄系統を17.5℃の恒温水槽で選抜を行い、耐冷性極強品種のトドロキワセ・コシヒカリ・東北155号・じょうできがほぼ100%の不稔歩合になる条件下で不稔歩合20%~30%の両親の耐冷性をさらに上回る超耐冷性系統を選抜できた（千葉(文)ら, '98, 4108).