

低温および遮光が寒地水稻品種「ななつぼし」の胴切粒発生に及ぼす影響

後藤英次・熊谷聡

(北海道立中央農業試験場岩見沢試験地)

要旨: 近年、北海道で水稻品種「ななつぼし」において他の主要北海道産米である「きらら 397」, 「ほしのゆめ」より、胴切粒（くびれ米）が特異的に多く発生したことから、人工気象室を用いたポット試験により胴切粒の発生予見と対応策について検討した。その結果、胴切粒は登熟初期において平均気温 19℃ 以下である極低温区（昼間 20℃ / 夜間 14℃）と低温区（昼間 22℃ / 夜間 16℃）で顕著に誘発された。発生位置について見ると、胴切粒（くびれ米）は 2 次分げつ > 1 次分げつ > 主稈, 2 次枝梗 > 1 次枝梗の順に多く、着粒位置による発生の多寡は低温により誘発された子実における縦伸長の増加に対する籾殻の大きさが制限要因と判断された。低温感受性の高い時期は、出穂期から 10 日間、特に出穂 3~4 日後と推察された。他方、出穂前の日照不足は、籾殻生育を抑制し、胴切粒発生を助長した。また、調製の篩目を大きくすると製品の胴切粒比率が低下し、篩目 2.0 mm 以上の場合には玄米品質規格上問題となる胴切粒を概ね取り除けた。以上の結果から、「ななつぼし」を作付けする場合には、当年の出穂時期と気象経過からその発生を予見し、集荷・調製において注意するように努めるべきと判断する。

キーワード: 遮光, 水稻, 低温, 胴切粒.

北海道産米は、近年の品種育成と栽培管理・品質管理技術の改善により、品質・食味水準の大きな向上が見られる。ただし、北海道は亜寒帯気候の特徴を有し、水稻の生育に重要な夏期に冷涼なオホーツク高気圧の影響を強く受けることから、概ね 4 年に 1 回の割合で冷害に遭遇するなど、依然として収量および玄米品質等の年次変動が大きいとされる。近年育成された良食味品種「ななつぼし」では、2001 年産米において奇形粒の一種である胴切粒（くびれ米と同義、以下は胴切粒とする）が多発し、発生状況は他の主要北海道産米である「きらら 397」, 「ほしのゆめ」より明らかに多かった（吉村ら 2002）。また、以後の 2002 年と 2003 年にも一部の圃場で散見された。胴切粒は、精米時に碎米や胴割粒を生じるとされ、その多発は実需者からクレームの対象となるので、玄米品質上重要な形質である。また、水稻うるち玄米品位規格上の胴切粒は、切り込みが粒幅の 1/4 以上の粒であるが、切り込みが粒幅の 1/4 以下の粒でも、その多発は流通場面において問題として指摘されることがあった。

胴切粒の発生に関しては、過去の研究から穎の内長径と子房長径のアンバランスにより発生する（武田・高橋 1970）、登熟初期の低温によって子房の長さが増大して穎と子房の長さのアンバランスを拡大し、胴切粒歩合が高まる（武田 1989）との報告がある。

このアンバランスの誘因としては、主に気象要因の観点からいくつかの検討が行われており、鋭角の胴切粒は暗黒処理では処理開始が開花後 5 日を中心とする時期に、低温処理では 3 から 5 日頃に発生が多い（長戸・小林 1957）。また、処理が遅くなるほど、くびれが鈍角で浅い傾向がみられている（長戸・小林 1957）、子房の肥大過程中“くび

れ”を生ずるのは、子房の長さが決まり、幅の肥大が始まる頃（開花後 10 日頃かそれ以降）に、13℃ 内外の低温に遭遇した場合に多く（氏家ら 1954）、北海道においても、出穂後 2 週間の低温処理（15℃）により発生が確認されている（森村・本間 1972）。気象要因以外については、発生部位に関して穂上位置や弱勢穎花などにおける発生状態の著しい傾向が認められない（氏家ら 1954、長戸・小林 1957）という報告と、屑米中の発生率が極端に高く、2 次枝梗で多い傾向にある（森村・本間 1972）という報告がある。施肥に関しては、多肥条件や窒素追肥により玄米、屑米中の胴切粒発生率が減少する傾向が認められている（森村・本間 1971、森村・本間 1972）。

本試験では、寒地水稻品種「ななつぼし」において胴切粒が発生する登熟気温の境界域および感受性の高い時期を特定するとともに、窒素施肥量や出穂前の日射条件が胴切粒の発生に及ぼす影響を検証し、胴切粒の発生しやすい条件を検討した。さらに調製条件を検討することにより、その対応に資することを目的とした。

材料と方法

1. 登熟初期における温度条件と籾先端切除処理の影響（実験 1）

（1）供試土壌および栽培概要

2004 年に 1/5000 a ワグネルポットに岩見沢試験地内の水田土壌（4 kg）を充填して試験を行った。土壌は表層無機質泥炭土で、土性が SCL、全炭素含量、pH（H₂O）はそれぞれ 34 g kg⁻¹, 5.8, 可給態窒素（40℃, 1 週間湛水培養法）は 160 mg kg⁻¹であった。「ななつぼし」の成苗ポット苗（3 本植）をポットあたり 1 株移植した。移植は 6 月 2

日に行った。

(2) 試験処理

肥料には高度化成 444 (窒素：リン酸：カリウム = 14%：14%：14%) を用い、窒素施肥量で 0.7 g/ポットを施用した。肥料を碎土した土壌に混和した後、ポットに充填し、水道水を加えて代かきを行った。出穂期まで屋外で管理していたポットを、出穂揃い (8月4日) から出穂揃 2週間後まで自然光型の人工気象室内に搬入し、昼 (最高気温 9 時間) - (移行期 3 時間) - 夜 (最低気温 9 時間) - (移行期 3 時間) の設定温度で処理した。それ以降は屋外に戻して管理した。出穂揃日は、株全体の 90% が出穂した日として判断した。設定温度は極低温区 (昼 20℃ - 夜 14℃, 平均 17℃), 低温区 (昼 22℃ - 夜 16℃, 平均 19℃), 中温区 (昼 24℃ - 夜 18℃, 平均 21℃), 高温区 (昼 26℃ - 夜 20℃, 平均 23℃) とした。1 処理区 4 ポットとした。また、各区 1 ポットを別途用意し、出穂揃い時に全穂済み全穎花について先端の切除処理 (籾長の 1/4 程度) を行った後、上記の温度処理を行った。

(3) 調査分析方法

収穫・脱穀後に各株の総籾 (1426~1606 粒 / 株) について、主稈、1 次分げつ、2 次分げつおよび 1 次枝梗、2 次枝梗ごとに分解し、籾の画像をスキャナーで取り込み、画像解析ソフト (NIHImage 1.61, National Institutes of Health) により籾長を測定した。さらに、籾すり後の玄米の画像をスキャナーで取り込み、拡大画像により胴切粒を判別した。一般の水稲うるち玄米品位規格では、切り込みが粒幅の 1/4 以上の粒を胴切粒と判定する。ただし実際場面においては、切り込みが粒幅の 1/4 以下の粒であっても、精白業者からのクレーム対象となる場合もあることから、本試験では切り込みが無い玄米を正常粒、切り込みが粒幅の 1/4 以下の玄米を胴切程度 (微)、切り込みが粒幅の 1/4 以上の玄米を胴切程度 (甚) として区分した。つづいて、玄米を各株ごとに混合した後、段別篩 (篩目 1.8 mm, 1.9 mm, 2.0 mm, 2.1 mm, 2.2 mm) を用いて分別し、各粒厚ごとに胴切粒の比率を調査した。

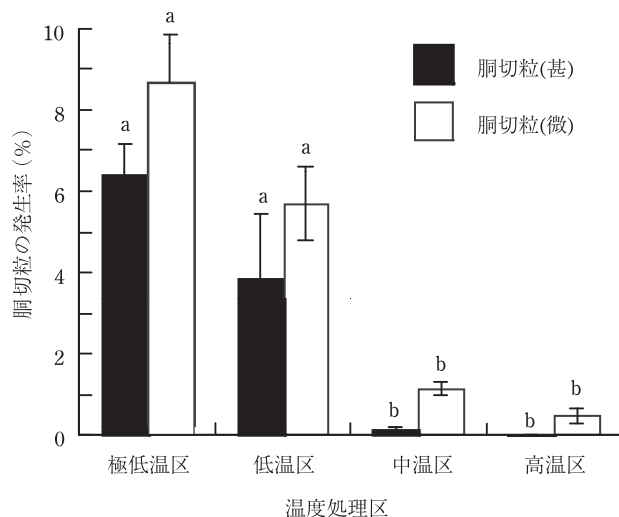
2. 低温遭遇時期および遮光、窒素施肥量の影響 (実験 2)

(1) 供試土壌および栽培概要

2006 年に 1/5000 a ワグネルポットに岩見沢試験地内の水田土壌 (4 kg) を充填して試験を行った。土壌及び供試品種、苗の種類は実験 1 と同様であった。移植は 6 月 5 日に行った。

(2) 試験処理

肥料には高度化成 444 を窒素施肥量で 0.7 g (標肥区) および 1.4 g/ポット (多肥区) を施用し、その他は実験 1 に準じた。自然光型の人工気象室内に搬入して、下記の 3 つの期間に昼 (20℃, 12 時間) - 夜 (14℃, 12 時間) で低温処理を行った。処理時期は、出穂揃 (標肥：8 月 7 日, 多肥：8 月 9 日) から 14 日間 (出穂揃 14 日後まで)、出



第 1 図 登熟初期の温度処理が胴切粒の発生率に及ぼす影響。

図中の垂線は標準誤差を示す (n=4)。

温度処理区は、極低温区：昼 20℃ - 夜 14℃, 低温区：昼 22℃ - 夜 16℃, 中温区：昼 24℃ - 夜 18℃, 高温区：昼 26℃ - 夜 20℃。

異なる英文字は、各胴切粒の発生率が各温度処理間で 5% 水準で有意差 (Tukey の方法) があることを示す。

胴切粒 (甚)：切り込みが粒幅の 1/4 以上, 胴切粒 (微)：切り込みが 1/4 以下。

穂揃 7 日後から 14 日間 (出穂揃 21 日後まで), 出穂揃 14 日後から 14 日間 (28 日後まで) とした。処理開始日は実験 1 と同様に、株全体の出穂揃日を基準とした。個々の穂については出穂日に穂札を付け、各穂に対する処理開始日を確認した。併せて、止葉抽出始期 (7 月 19 日) から出穂期 (8 月 4 日) まで遮光ネットを用いた遮光処理 (遮光率 70%, 以下前歴遮光処理) の後に出穂揃 7 日後から 14 日間低温処理を加える区を設け、前歴遮光処理の影響を見た。1 処理区 4 反復とした。

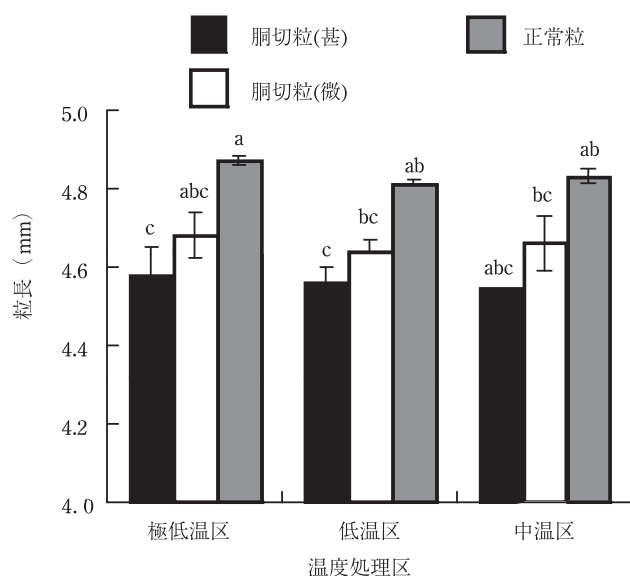
(3) 調査分析方法

収穫・脱穀・籾すり後の玄米を穀粒判別機 (RGQI 10 B, サタケ社製) により、全粒の画像を取り込んだ。胴切粒は、取り込まれた画像により判別した。玄米の粒長・粒幅の測定は、穀粒判別機による測定値を用いた。胴切粒程度の判定については、実験 1 と同じであった。

結 果

1. 登熟初期における温度条件と籾先端切除処理の影響 (実験 1)

水稻生育の平均値は、穂数 31 本 / 株, 稈長 78 cm, 穂長 17 cm, 玄米重 29 g / 株であり、温度処理区による差は大きくなかった (図表省略)。胴切粒の発生率は、極低温区 > 低温区 > 中温区 > 高温区の順に、出穂揃い後 2 週間の登熟温度が低いほど高かった (第 1 図)。すなわち、極低温区では胴切粒 (甚) 6.4%, 胴切粒 (微) 8.7%, 低温区では胴切粒 (甚) 3.9%, 胴切粒 (微) 5.7% で、中温区



第2図 登熟初期の温度処理が玄米粒長に及ぼす影響。

温度処理区は、第1図と同様。

図中の垂線は標準誤差を示す (n=4)。

異なる英文字は、全ての温度処理区の各胴切粒間において5%水準で有意差 (Tukeyの方法) があることを示す。

および高温区と比較して胴切粒の発生率が有意に高かった。さらに、中温区および高温区で発生した胴切粒はほとんどが胴切粒 (微) であったのに対して、極低温区と低温区では胴切粒 (微) とともに胴切粒 (甚) の発生が多く認められた。各区の玄米粒長を比較すると、胴切粒発生率の少なかった高温区を除き、玄米粒長は各温度処理とも正常粒>胴切粒 (微)>胴切粒 (甚) の順に長く、極低温区と低温区では、正常粒と胴切粒 (甚) の間に有意差が認められた (第2図)。

稲体を分けつ別および枝梗別に分類し、胴切粒の程度別の発生率を調査した (第1表)。その結果、2次分けつ>1次分けつ>主稈の順に胴切粒発生率が高く、枝梗別では2次枝梗>1次枝梗の順に高かった。また、稲体の分けつ別および枝梗別の初長および玄米粒長を調査した (第2表)。初長は、主稈と分けつを比較すると、1次枝梗と2次枝梗ともに、主稈より1次分けつおよび2次分けつが短い傾向にあった。また、枝梗別間の比較では、1次枝梗と比較して2次枝梗で0.2~0.3 mm程度短かった。粒長の分けつ別の比較では、有意差は認められないが、主稈よりも1次分けつ、2次分けつで短かった。枝梗別では、1次枝梗と

第1表 分けつ別、枝梗別の胴切粒発生率。

| 処理区 | 胴切粒の発生率 (%) | | | | | | | |
|-------|-------------|--------|-------|----------|---------|-------|--------|----------|
| | 1次枝梗 | | | | 2次枝梗 | | | |
| | 正常 | 微 | 甚 | 合計 (微+甚) | 正常 | 微 | 甚 | 合計 (微+甚) |
| 極低温区 | | | | | | | | |
| 主稈 | 97.7 a | 2.3 a | 0.0 | 2.3 a | 96.4 a | 2.5 a | 1.1 a | 3.6 a |
| 1次分けつ | 88.0 b | 8.1 b | 3.9 a | 12.0 b | 83.5 b | 9.6 b | 6.8 b | 16.5 b |
| 2次分けつ | 89.1 b | 5.4 ab | 5.4 a | 10.9 b | 77.0 c | 9.8 b | 13.1 c | 23.0 c |
| 低温区 | | | | | | | | |
| 主稈 | 99.3 a | 0.7 a | 0.0 | 0.7 a | 97.8 a | 1.5 a | 0.7 a | 2.2 a |
| 1次分けつ | 98.3 a | 1.6 a | 0.1 a | 1.7 ab | 96.0 ab | 3.0 a | 1.0 a | 4.0 ab |
| 2次分けつ | 95.6 a | 2.5 a | 1.9 a | 4.4 b | 93.8 b | 2.7 a | 3.5 b | 6.2 b |

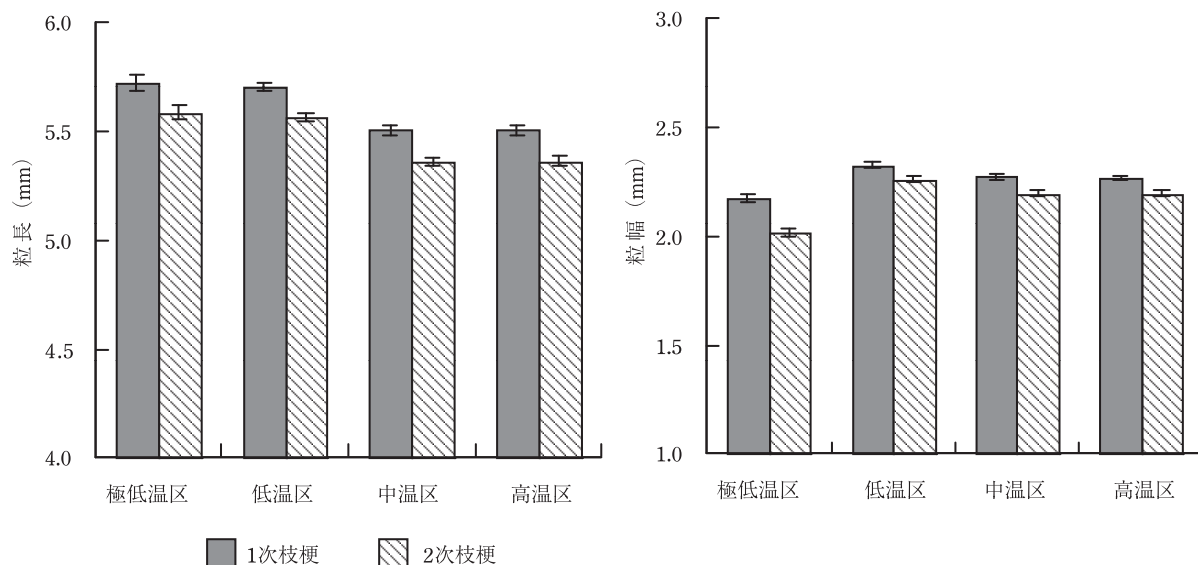
正常、微、甚は、それぞれ正常粒、胴切粒 (微)、胴切粒 (甚) を示す (第2表も同様)。

表中の異なる英文字は、各温度処理区内で分けつ間の出現率に5%水準で有意差 (Tukeyの方法) があることを示す (n=4)。

第2表 分けつ別、枝梗別の初長と粒長。

| 処理区 | 初長 (mm) | | 粒長 (mm) | | | | | |
|--------|---------|---------|----------|-----------|------------|------------|------------|-----------|
| | 1 次枝梗 | 2 次枝梗 | 1 次枝梗 | | | 2 次枝梗 | | |
| | | | 正常 | 微 | 甚 | 正常 | 微 | 甚 |
| 極低温区 | | | | | | | | |
| 主稈 | 6.32 a | 6.12 c | 5.03 a | 4.88 abc | - | 4.90 abc | 4.82 abc | 4.60 c |
| 1 次分けつ | 6.24 b | 6.00 d | 4.91 ab | 4.81 abc | 4.73 abc | 4.79 abc | 4.66 abc | 4.57 bc |
| 2 次分けつ | 6.22 b | 6.02 d | 4.90 abc | 4.84 abc | 4.79 abc | 4.76 abc | 4.73 abc | 4.58 bc |
| 低温区 | | | | | | | | |
| 主稈 | 6.36 a | 6.06 cd | 4.97 a | 4.88 abcd | - | 4.80 abcd | 4.68 abcde | 4.43 de |
| 1 次分けつ | 6.25 ab | 5.99 d | 4.90 ab | 4.82 abc | 4.37 e | 4.73 abcde | 4.64 bcde | 4.54 bcde |
| 2 次分けつ | 6.19 bc | 6.05 d | 4.86 abc | 4.89 abc | 4.57 abcde | 4.73 abcde | 4.53 de | 4.50 cde |

表中の異なる英文字は、各温度処理区内において初長および粒長に5%水準で有意差 (Tukeyの方法) があることを示す (n=4)。



第3図 出穂揃い期に籾先端の切除処理をした籾（1次分げつ）の玄米粒形。

温度処理区は、第1図と同様。

図中の垂線は標準誤差を示す。

切穎処理は2次分げつのサンプルが少ないため、1次分げつデータのみ記載した。

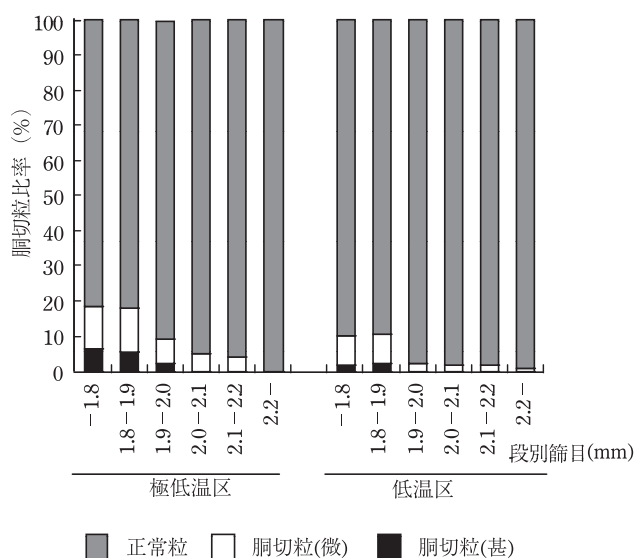
比較して、2次枝梗の粒長が短い傾向にあった。胴切程度別の粒長は、正常粒>胴切粒（微）>胴切粒（甚）の順に短く、極低温区の1次枝梗の場合、正常粒の粒長が4.90～5.03 mmであったのに対して、胴切粒（微）は4.81～4.88 mm、胴切粒（甚）は4.73～4.79 mmであった。この傾向は2次枝梗でも、低温区でも認められた。

各処理区の出穂揃い時に穎花先端の切除処理を行い、その後に生育した玄米粒長および粒幅の調査結果を第3図に示した。その結果、1次分げつの玄米粒長は極低温区≒低温区>中温区≒高温区であり、枝梗別では1次枝梗>2次枝梗であった。粒幅は極低温区が顕著に狭く、1次枝梗>2次枝梗であった。

穎花先端の切除処理を除く温度処理試験の玄米を段別篩で分別した結果、篩目の小さい区分（粒厚の薄い区分）で胴切粒の比率が高い傾向にあった（第4図）、2.0 mm以上の篩目の区分では胴切（甚）の比率が著しく少なく、特に産米品質検査上問題となる胴切粒（甚）は2.0 mm以上で概ね除去された。ただし、本ポット試験における玄米千粒重は19.2～19.7 gであり、同年の他の圃場試験における玄米千粒重が21 g程度であったことと比較して若干小さかった。

2. 低温遭遇時期および遮光、窒素施肥量の影響（実験2）

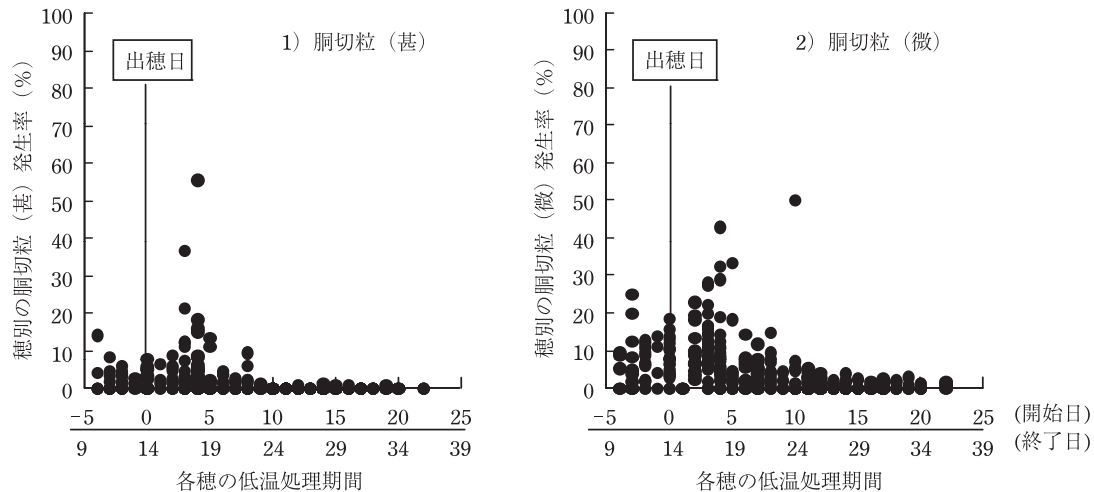
穂別に低温処理昼（20℃、12時間）-夜（14℃、12時間）の開始時期と胴切粒発生との関係を検討した（第5図）。なお、処理開始日となる出穂揃いは株全体の90%が出穂した日で判定したため、一部の穂は出穂日以前に低温処理を行われることになった。その結果、出穂5日前から出穂10日後頃の間に低温処理を開始した穂で発生率が高く、そのピー



第4図 段別篩目別の胴切粒比率の分布。

クは出穂3～4日後に低温処理を開始した穂であった。出穂10日後以降に低温処理された穂では、ほとんど発生が認められなかった。ただし、出穂日以前に低温処理を開始した穂には開花期障害不稔粉が多発して、平均稈実歩合が60%以下に低下し、最も低かった穂の稈実歩合は4%であった（図表省略）。

施肥窒素量と胴切粒発生率の関係を検討した。出穂期間（出穂始め～出穂揃）は標肥区で7月31日から8月7日で、多肥区で7月31日から8月9日であった。胴切粒発生の結果を見ると、出穂揃から出穂揃14日後の低温処理の場合は、標肥区（0.7 Ng/pot）の胴切粒発生率の合計が



第5図 穂別の低温処理期間が胴切粒発生率に及ぼす影響。

低温処理開始日および終了日は出穂日を基準日(0)として表示した。
図中の各点は、各穂における発生率を示す。

第3表 低温処理期間と窒素施肥量が水稻生育と胴切粒発生率に及ぼす影響。

| 低温処理期間 出穂揃い後 | 窒素施肥量 (g/pot) | 稈長 (cm) | 穂長 (cm) | 穂数 (本/株) | 稈実歩合 (%) | 胴切粒の発生率 (%) | | |
|-----------------|------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------|---------|
| | | | | | | 甚 | 微 | 合計(微+甚) |
| 0～14日 | 0.7 | 70 | 17 | 41 | 64 | 2.9 a | 7.7 a | 10.5 a |
| | 1.4 | 82 | 19 | 44 | 69 | 1.6 ab | 5.6 ab | 7.3 ab |
| 7～21日 | 0.7 | 72 | 17 | 40 | 81 | 1.1 bc | 4.6 bc | 5.7 b |
| | 1.4 | 77 | 19 | 47 | 79 | 1.2 bc | 1.9 cd | 3.2 bc |
| 14～28日 | 0.7 | 75 | 18 | 44 | 89 | 0.0 c | 0.5 d | 0.6 c |
| | 1.4 | 79 | 18 | 51 | 87 | 0.0 c | 0.5 d | 0.6 c |

表中の異なる英文字は、胴切粒の発生率に5%水準で有意な差(Tukeyの方法)があることを示す(n=4)。

第4表 出穂前遮光処理と窒素施肥量が胴切粒発生率に及ぼす影響。

| 窒素施肥量 g/pot | 出穂前 遮光処理 | 穂数 (本/株) | 稈実歩合 (%) | 胴切粒の発生率 (%) | | |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|---------|
| | | | | 甚 | 微 | 合計(微+甚) |
| 0.7 | なし | 40 | 81 | 1.1 a | 4.6 ab | 5.7 ab |
| 0.7 | あり | 37 | 72 | 3.2 a | 4.8 ab | 7.9 ab |
| 1.4 | なし | 47 | 79 | 1.2 a | 1.9 b | 3.2 b |
| 1.4 | あり | 43 | 67 | 4.1 a | 5.5 a | 9.6 a |

表中の異なる英文字は、胴切粒の発生率に5%水準で有意な差(Tukeyの方法)があることを示す(n=4)。

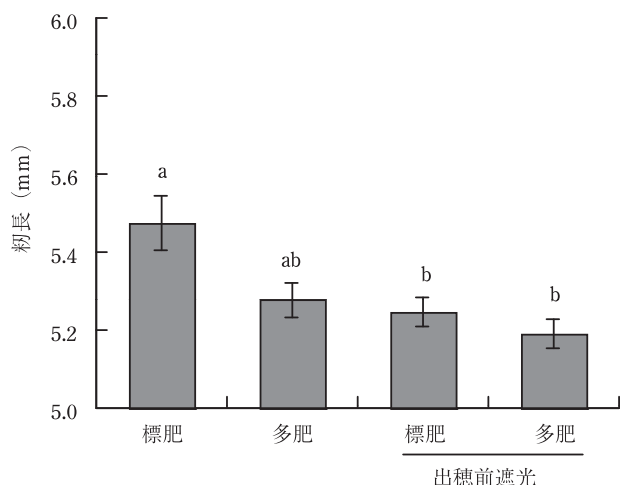
低温処理：出穂揃7日後から21日後。

出穂前遮光処理：止葉抽出始めから出穂始め(12日間)、70%遮光。

10.5%に対して、多肥区(1.4 Ng/pot)で7.3%と、有意ではないが多肥区で発生率が低かった(第3表)。出穂揃7日後から21日後の処理でも同様の傾向が認められた。水稻の生育量を比較すると、稈実歩合に大差なかったが、多肥区で穂数が多くなっていた。出穂揃14日後から28日後の低温処理の場合は、標肥区、多肥区とも胴切粒発生率が著しく低かった。

出穂前の遮光処理(止葉抽出始期から出穂期、70%遮光)の有無について検討した(第4表)。水稻の稈実歩合は遮

光処理により約10%低下したが、多肥と遮光を組み合わせた区でも67%の稈実が得られた。胴切粒(甚)の発生率は有意な差ではなかったが、窒素施肥量にかかわらず出穂前の遮光処理により増加した。特に多肥区の胴切粒発生率合計(微+甚)は出穂前の遮光処理により明らかに増加した。窒素標肥区の稈長は出穂前の遮光処理により有意に短縮していた(第6図)。窒素多肥区の稈長は、標肥区ほど明瞭ではないが、遮光処理により短くなっていた。



第6図 籾長に及ぼす施肥と出穂前遮光の影響。

図中の垂線は標準誤差を示す。

異なる英文字は、施肥・遮光処理間の比較において5%水準で有意差 (Tukeyの方法) があることを示す (n=4)。

考 察

近年育成された水稻品種「ななつぼし」は、食味官能評価が高く、栽培特性も優れているため普及の拡大が図られている。しかし、2001年産の「ななつぼし」においては、他の主要北海道産米である「きらら397」、「ほしのゆめ」より胴切粒が多発し、流通現場で問題となった。胴切粒は精米時に碎米を生じることから、実需者からのクレームが寄せられた。このため、本試験は「ななつぼし」における胴切粒発生条件を解析し、その発生予見と対応策について検討した。

1. 胴切粒発生に及ぼす低温の影響

胴切粒の多発年であった2001年の出穂直後(8月I半旬)

の平均気温は18.1℃(平年値22.3℃と比較して明らかに低かった(第5表)。過去の研究報告では登熟期間の低温による発生が指摘されており、その限界温度は15~20℃程度とされる(氏家ら1954, 長戸・小林1957, 森村・本間1972, 武田1985)。しかし、吉村ら(2002)により「ななつぼし」が他の北海道品種「きらら397」「ほしのゆめ」と比較して有意に発生率が高かったことが報告されており、筆者もこれを追試し、同様の結果を得た(未発表)。これは、品種により低温感受性もしくは低温に伴う子実伸長反応の差異が大きいことを示すものである。そこで、第一に「ななつぼし」の胴切粒発生に対する低温の強度について検討した。その結果、「ななつぼし」においても同様に収穫後の登熟温度が低いほど胴切粒の比率が高まった(第1図)。「ななつぼし」では低温区と極低温区の処理区で明らかに発生が高まっていた。水稻うるち米玄米の品質規格では、被害粒+死米+着色粒+異種穀粒および異物の総計の最高限度が15%未満とされており、胴切粒(本試験では胴切粒(甚)に区分)は被害粒に含まれる奇形粒の一種とされる。胴切粒としての玄米許容基準はないが、低温区で胴切粒(甚)の発生が3%以上、合計(微+甚)が9%以上と高まったことから、本試験では「ななつぼし」の胴切粒発生境界温度を19℃程度と判断した。また、登熟初期における平均気温が19℃以下(10日間平均)となる頻度は、地域によって異なるものの、過去20年間の気象から北海道において概ね10年に1から2回程度の頻度で認められる気温であり(図表省略)、「ななつぼし」の栽培にあたっては、胴切粒発生に対して一定の配慮が必要と考える。

2. 胴切粒発生に及ぼす低温遭遇時期の影響

低温による胴切粒の発生は、出穂前5日頃から高まり、出穂3~4日後に低温処理を開始した穂をピークとして、

第5表 胴切粒多発年(2001年)の気象(北海道岩見沢市アメダスデータ)。

| | | 最高気温 (℃) | | 平均気温 (℃) | | 最低気温 (℃) | | 積算日照時間 (h) | |
|----|-----|----------|------|----------|------|----------|------|------------|------|
| | | 2001 | 平年 | 2001 | 平年 | 2001 | 平年 | 2001 | 平年 |
| 7月 | I | 22.5 | 22.4 | 19.3 | 18.6 | 16.0 | 14.9 | 18.9 | 21.8 |
| | II | 21.9 | 22.0 | 17.7 | 18.3 | 13.5 | 14.7 | 16.7 | 20.3 |
| | III | 25.5 | 24.1 | 22.2 | 20.2 | 18.9 | 16.3 | 13.4 | 23.3 |
| | IV | 23.8 | 24.3 | 20.6 | 20.5 | 17.4 | 16.8 | 15.0 | 21.9 |
| | V | 26.4 | 25.4 | 22.7 | 21.7 | 19.0 | 17.9 | 19.3 | 24.6 |
| | VI | 23.6 | 26.0 | 20.1 | 22.4 | 16.6 | 18.8 | 21.9 | 24.6 |
| 8月 | I | 21.3 | 25.8 | 18.1 | 22.3 | 14.8 | 18.8 | 27.6 | 21.1 |
| | II | 22.5 | 25.8 | 19.0 | 22.1 | 15.5 | 18.4 | 28.0 | 26.5 |
| | III | 26.7 | 25.0 | 21.3 | 21.1 | 15.9 | 17.3 | 45.6 | 24.4 |
| | IV | 26.7 | 24.9 | 21.5 | 21.0 | 16.2 | 17.1 | 43.1 | 27.3 |
| | V | 26.5 | 24.5 | 22.5 | 20.6 | 18.5 | 16.6 | 29.4 | 23.8 |
| | VI | 21.9 | 24.3 | 19.1 | 20.2 | 16.4 | 16.2 | 4.4 | 30.3 |

2001年の岩見沢試験地圃場の「ななつぼし」中苗の出穂日は、8月4日。

以降徐々に減少した（第5図）。出穂以前に開始された低温処理については、出穂前の低温処理が開花不受精による不稔を誘発しており、その胴切粒発生率には低温遭遇時期以外の要因も加味されている可能性がある。また、子実の伸長は開花後であることから、実際には出穂後の低温処理に感応した可能性もあることから、出穂以前の低温遭遇の影響については判断が難しい。一方、出穂10日後以降に処理された穂ではほとんど胴切粒の発生が見られなかった。過去の報告による出穂後の米粒の発育過程（品種：ヨネシロ）を見ると、長さは開花後5～6日後で全長に達し、幅（背腹径）は15～16日まで急増し、その後は米粒の各伸張速度が緩慢になるとされる（星川1967）。本試験の出穂揃における籾先端の切穎処理の場合、1次分けつの玄米粒長は極低温区≒低温区>中温区≒高温区であり（第3図）、粒幅は極低温区で減少した。籾先端の切除処理は、子実伸長に対する籾殻という制限要因の除去を目的としたものであり、この結果から低温自体が子実の伸長を抑制したのではなく、むしろ平均19℃以下の登熟温度で子実の縦伸長が促進され、玄米の縦/幅比率が増加していたことが判る。低温では子実の縦伸長が促進され、その籾殻と子実伸長のアンバランス、具体的には子実縦伸長に対して、籾殻の大きさが不十分なことによる制限が胴切粒発生の大きな要因と推察された。したがって、子実伸長の時期が重要であり、出穂～10日程度の期間の温度感受性が高いものと推察される。これは先に述べた胴切粒を誘発した低温感受性の高い時期とほぼ重なる。

本試験の結果から、「ななつぼし」の胴切粒を誘発する低温感受性の高い時期は、子実の伸長時期と符合する出穂後の早い段階から出穂後10日以内であり、特に出穂後直後の出穂3～4日後と判断する。この感受性の高い時期は本州における過去の研究報告（長戸・小林1957）とも概ね合致するものであるが、感受性の機作については不明である。

3. 胴切粒発生部位の違い

胴切粒発生部位について検討するため、稲体を分けつ別・枝梗別に分解して調査した。その結果、胴切粒の発生率は、2次分けつや2次枝梗に多かった（第1表）。玄米の粒長を胴切程度別に見ると、処理温度に係らず、正常粒が最も長く、胴切粒（微）、胴切程度（甚）の順に短かった（第2図）。その傾向は分けつや枝梗位置に係らずほぼ同様に認められた（第2表）。このことは、一見すると登熟初期の低温により子実伸長が抑制されたようにも見えるが、過去の報告から胴切粒発生率の高い品種は低温処理時の子実縦伸長が促進されるとある（武田・高橋1970、武田1984、武田1989）。本試験でも、先にも述べたように籾先端の切穎処理から、極低温区および低温区で粒長の増加が確認されている。子実伸長を制限する要因としての籾殻、本試験における籾長を見ると、籾長は主稈>1次分けつ≒2次分

げつであり、枝梗別の比較では、1次枝梗>2次枝梗であった（第2表）。したがって、籾殻の小さい2次分けつや2次枝梗では籾殻の制約が大きく、その結果として胴切粒の発生率が高まりやすかった可能性がある。しかし、同じ分けつ・枝梗内で比較しても、胴切粒は正常粒より粒長が短い傾向にあった。このことは、同一の分けつ・枝梗内でも籾殻長の違いによる影響があるのか、籾殻長と子実長のアンバランス以外に重要な胴切粒発生機作がある可能性を示しており、今後さらに検討が必要と考える。

4. 遮光処理および窒素施肥量の影響

同様な低温条件であっても、圃場間で「ななつぼし」の胴切粒の発生程度は異なっている。ゆえに、「ななつぼし」の胴切粒発生には、登熟初期の低温以外の要因が関与していると考えられ、本試験では窒素施肥について検討した。本試験の結果、多肥処理による胴切粒発生は標肥区と同等かそれ以下であった（第3表）。その要因としては、窒素多肥の場合、茎数・穂数は増え、遅れ穂も多くなるため、出穂揃いにかかる日数が通常より長くなる。この場合、開花の遅い穂や籾が増えることになり、遅れて開花した穎花が低温感受性の高い時期をすり抜けた可能性もある。ただし、北海道では8月中旬以降に平均気温が低下し始めるため、圃場における開花の遅れは低温に遭遇する可能性を高め、一概に胴切粒発生を抑制するとは言いがたい。このように理由は不明であるが、窒素を倍量施用した場合でも胴切粒発生の減少程度は大きくないことから、窒素施肥の影響は補助的なものとする。

次に、胴切粒の発生に対する日照の影響について検討した。本試験では、出穂前の遮光処理（止葉抽出始め～出穂期、70%遮光）により、胴切粒の発生が助長された（第4表）。籾殻の大きさの決定時期は減数分裂期とほぼ一致し（水野1987）、減数分裂期の最盛期は葉耳間長が-30 mmから始まり、+100 mmに終了するとされる（吉田1986）。本試験の処理はこの時期に当たる。佐藤（1968）の報告と同様に、本試験でも止葉抽出始期からの減数分裂最盛期における日照不足が籾殻の形成・伸張を抑制した（第6図）。その結果、子実伸長時に籾殻長と子実長のアンバランスを助長した可能性があり、胴切粒発生を助長する要因の一つとして「出穂前の寡照による籾殻の生育抑制」が影響したと考えられる。胴切粒の多発年であった2001年は出穂後の低温とともに出穂前である7月の日照不足（第5表）が認められており、本試験の結果と符合する。

5. 胴切粒発生の対策

先述のように「ななつぼし」は他の主要北海道産米である「きらら397」、「ほしのゆめ」などより胴切粒が多発しやすく、現在のところ栽培技術による実用的な改善対策は難しい。したがって、収穫以降の流通場面の対応策として、胴切粒が発生した場合の調製による除去が求められてい

る。産米の調製方法として、主にグレーダーの篩目と色彩選別機が用いられるが、現行の色彩選別機の調査項目および判定パラメータの設定では、胴切粒選別が困難であるため、本試験では篩目による調製の可能性を検討した。段別篩分けの結果、篩目の小さい区分で胴切粒の比率が高い傾向にあり、篩目 2.0 mm 以上を使う事により、胴切粒を完全には除去できないものの、一定程度胴切粒の比率が低下し、胴切粒（甚）については概ね取り除けた。実用現場においても調製における篩目を大きくすることにより、胴切粒を除去できる可能性が大きいと考えられる。

以上のことから、水稻品種「ななつぼし」を作付けする場合には、当年の出穂時期と出穂直後の気象経過、具体的には出穂前の日照不足や出穂後 10 日間の平均気温 19°C 以下からその発生を予見し、発生が予測される際には集荷・調製に注意するように努めるべきと判断する。

引用文献

- 星川清親 1967. 米の胚乳発達に関する組織形態学的研究. 第 1 報 胚乳細胞組織の形成過程について. 日作紀 36 : 151-161.
 水野直治 1987. 水稻の登熟に対するケイ酸の効果. 第 4 報 初穀の形成とそのケイ酸含量の変化. 北農 54 : 23-29.
 森村克美・本間昭 1971. 胴切米の発生について. 育雑 21 (別 1) : 30-

31.
 森村克美・本間昭 1972. 胴切米の発生について (II). 育雑 22 (別 1) : 67-68.
 長戸一雄・小林喜男 1957. 胴切米の発生に関する研究. 日作紀 26 : 13-14.
 佐藤庚 1968. 稲の初穀の大きさの意義について. 日作紀 37 : 454-456.
 武田和義・高橋万右衛門 1970. イネの穎と子房の大きさの相対的關係. 1. その不均衡程度の品種間差と畸型粒の発生. 育雑 20 : 337-343.
 武田和義 1984. 低温による子房の伸長促進とくびれ米の発生. 育雑 34 : 346-355.
 武田和義 1985. イネにおける穎果の伸長との温度反応とくびれ米 (胴切粒) の発生. 日作紀 54 : 253-260.
 武田和義 1989. くびれ歩合の温度反応. 育雑 39 : 75-88.
 氏家四郎・斉藤豊治・佐藤三郎 1954. 冷害年次に於ける胴切粒の発生状況. 農及園 29 : 317-318.
 吉村徹・丹野久・菅原圭一・宗形信也・田縁勝洋・相川宗嚴・菊池治己・佐藤毅・前田博・本間昭・田中一生・佐々木忠雄・太田早苗・鴻坂扶美子 2002. 水稻新品種「ななつぼし」の育成. 北海道立農試集報 83 : 1-10.
 吉田昌一 1986. 稲作科学の基礎. 村山登・吉田よし子・長谷川周一・末長一博共訳. 博友社, 東京. 61-62.

The Effect of Temperature and Shading on Notched-belly Rice Kernel in Hokkaido Rice Variety “Nanatsuboshi” : Eiji GOTO and Satoshi KUMAGAI (*Hokkaido Cent. Agric. Exp. Stn. Iwamizawa Branch Office, Iwamizawa, Hokkaido 069-0365, Japan*)

Abstract : In recent years, consumers in Hokkaido complain of the occurrence of notched-belly rice kernels in rice variety “Nanatsuboshi”. In order to investigate the factors that caused notched-belly rice kernels, we conducted experiments in an air-conditioned room. The results are summarized as follows. 1) The rate of the occurrence of notched-belly rice kernels increased by exposing the plants to a temperature lower than 19°C for two weeks from heading time. The most temperature sensitive period was three to four days after heading time. 2) The ratio of notched-belly rice kernels was higher in secondary tillers than in primary tillers, and in secondary than in primary rachis-branches. 3) Shading before heading time shortened the rice hull and increased the number of notched-belly rice kernels. 4) Sieving with a grader with larger than 2.0 mm mesh clearly removed notched-belly rice kernels rate. Therefore, it is necessary to predict the occurrence of the notched-belly rice kernel by the weather condition during the sensitive period and to sieve brown rice carefully to remove notched-belly rice kernels.

Key words : Low temperature, Notched-belly rice kernel, Rice, Shading.