日作紀（Jpn. J. Crop Sci.）77（4）：457―460（2008）

# ダイズの亀甲じわ粒の発生に及ぼす成熟後の子実水分変動の影響

佐藤徹・服部誠・市川岳史・田村隆夫
（新潟県農業総合研究所作物研究センター）

**要旨**：ダイズの亀甲じわ粒の立毛中の発生要因について子実の水分変動との関係から検討した結果，剥離粒は単粒子実水分が13％以下に乾燥した粒が吸湿すると発生した．また，種皮は子葉に比べ吸湿直後の水分吸収速度が速かった．さらに，亀甲じわは剥離粒の乾燥と吸湿処理の繰り返しにより，しわの発生と消滅を繰り返しながら徐々に増加した．このことから，立毛中に子実水分が13％以下に乾燥した粒が，その後，吸湿すると子葉と種皮の水分吸収速度の違いから剥離を生じ，さらに，水分を吸収することにより亀甲じわになると考えられた．その後，日中の乾燥によりしわが消える粒もあるが，夜露等により亀甲じわが再度発生し，その後も日中の乾燥と夜間の湿潤状態の繰り返しにより，亀甲じわの発生と消滅が繰り返され，種皮の弾力性が失われ，亀甲じわが固定されると考えられた．亀甲じわの防止のためには早めに刈り取ることが重要であり，成熟期になったら，刈遅れることなく，直ちに収穫する必要があると考えられた．

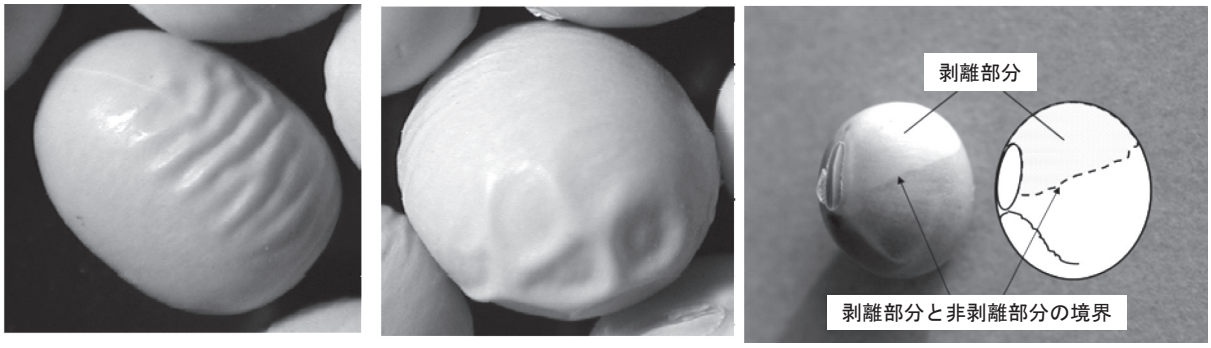
**キーワード**：亀甲じわ，子実水分，種皮，子葉，しわ粒，ダイズ．

新潟県における大豆の作付け面積は6450 ha（2006年）であり，全国第6位の作付け面積であったが，品質においては，近年，1・2等の上位等級比率が25％以下と低く，格落ち理由の8割以上がしわ粒の混入によるものである（田村2007）．

しわ粒の発生には，品種間差がある（菊池ら1992，大黒ら1997，増田ら2005）ことや，収穫後の乾燥方法によるしわ粒の発生はその発生機構も含め詳細に検討されている（金子ら1988，大黒ら1997）．また，立毛中に発生するしわには2種類あり（第1図），子実の臍の反対側が細かく波状となる縮緬じわと種皮が子葉から浮いて白くみえる種皮の剥離状態（以下剥離と略）を伴って亀甲状に隆起する亀甲じわに大別できる（市川ら2004）．縮緬じわの発生要因としては子実肥大期の養水分ストレス（田渕2007）や窒素含有量の低下（井上・高橋2006）に起因していることが示唆されているが，新潟県で発生が多い亀甲じわ（田渕2007）についての発生要因については詳細な検討がされていない．一般に，しわ粒は刈遅れにより増加することが知られている（鳥居ら2006）ことから，亀甲じわの発生には成熟期後の気象条件が起因している可能性があると考えられ，立毛中における発生要因や発生機構を子実，特に種皮と子葉の水分変動から検討した．

## 材料と方法

品種 はエンレイ を用い，2006年6月6日に新潟県農業総合研究所作物研究センター内圃場（新潟県長岡市，水田転換畑，連作2年目）224 ㎡に条間75 cm，株間15 cmの設定で機械播種した．基肥施肥量は窒素，リン酸，カリを成分でそれぞれ10 a当たり1．6，6．0，8．0 kg施用した．培土は2回実施し，防除などの栽培管理は慣行とした．収穫は成熟期頃の10月12日に手で株を抜いて行った．乾燥はビニールハウス内で約1週間ハザに干して行い，その後，脱穀・調製した大粒子実を冷蔵庫に保管し，随時，試験1から3を実施した．なお，各時点の子実水分は実験終了後




ちりめんじわ　　亀甲じわ　　種皮が剥離した状態

第1図　ダイズのしわ粒および種皮が剥離した粒．

2008年4月1日受理．連絡責任者：佐藤徹　〒940-0826 新潟県長岡市長倉町857
TEL 0258-35-0893，FAX 0258-35-0021，tosatou@ari.pref.niigata.jp
本研究は先端技術を活用した農林水産研究高度化事業「北陸地域に多発する大豆しわ粒の発生防止技術の開発」の中で実施した．

に絶乾による単粒乾物重を測定し，算出した．

**試験1：子実水分の違いが吸湿による種皮の剥離発生に及ぼす影響**

吸湿前の子実水分の違いが吸湿後の剥離の発生に及ぼす影響を調査するため，子実水分の異なる剥離の生じていない大粒110粒を選び，1粒ずつ粒重を測定した後，アルミカップに入れ，水を張ったバットに浮かべ，全体をビニール袋で包み，湿度約95%，温度約12.5℃の状態で，定温器内に静置した．4時間後に剥離発生状況および粒重を1粒ずつ調査した．

**試験2：子葉と種皮の水分吸収速度の違い**

子葉と種皮の水分吸収速度の違いを調査するため，子実水分約12%の大粒15粒（5粒，3反復）を用い，子葉と種皮をカッターナイフで切り分け，試験1と同様な方法で定温器内（湿度95%，温度12.5℃）に静置した．水分吸収量を測定するため，経時的に重量を測定した．

**試験3：乾・湿の繰り返しと亀甲じわ粒の発生**

剥離した粒が亀甲じわ粒へと固定される過程を調査するため，子実の乾燥と吸湿の繰り返し条件を設定した．材料は剥離を生じている子実水分約11%の大粒20粒を用い，吸湿条件として大豆収穫時期の自然条件を想定して，16時～9時は試験1と同様な方法で定温器内（湿度95%，温度12.5℃）に静置し，乾燥条件として9時～16時は実験室内（湿度約50%，温度約20℃）に静置し，乾・湿の繰り返し処理を4日間行った．調査は毎日，条件が変わる9時と16時に亀甲じわの発生の有無および粒重を1粒ずつ調査した．

**試験4：圃場における子実水分変動の実態**

大豆収穫時期の晴天日における単粒子実水分が時刻により，どのように分布しているかを調査するため，試験1から3のサンプルを採取した同じほ場から，晴天日の2006年10月19日10時および14時，10月20日7時に，各3株抜き取り，各株から30莢を採取し，直ちに莢を手で剥き，子実単粒重を測定した．各時点の調査粒数は164～169粒であった．調査終了後に絶乾による乾物重を測定し各時点の子実水分を算出した．

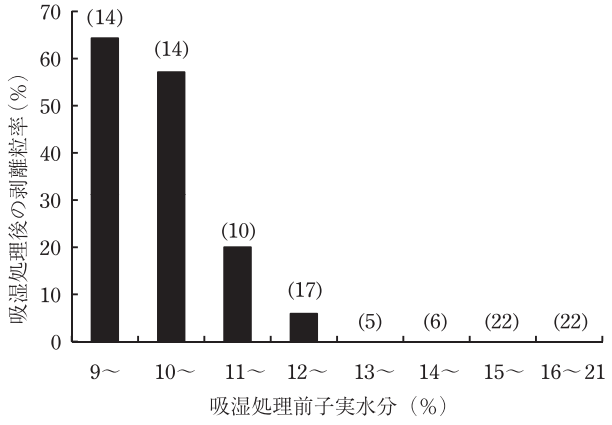
## 結　　果

**試験1：子実水分の違いが吸湿による種皮の剥離発生に及ぼす影響**

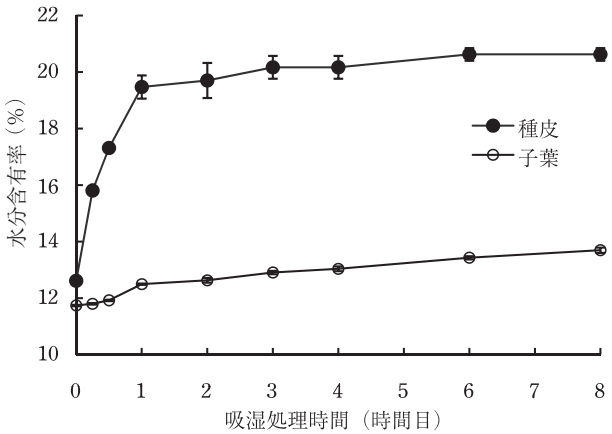
単粒子実水分が13%以上の粒は吸湿処理により子実水分が高まっても，剥離は発生しなかった（第2図）．一方，単粒子実水分が13%未満に下がった粒が吸湿すると，子実水分が12～13%の粒では6%，11～12%の粒では20%の粒に剥離が発生し，11%未満では50%以上の粒に剥離が発生した．

**試験2：子葉と種皮の水分吸収速度の違い**

子実水分が12%程度まで乾いた粒において，吸湿処理を行った結果，吸湿後1時間の水分吸収速度が子葉と種皮で異なり，種皮は子葉に比べ有意に水分吸収速度が速く（第




第2図　子実水分の違いによる吸湿後の種皮の剥離発生．
（ ）は調査粒数を示す．吸湿条件は温度12.5℃－湿度95%
調査は吸湿処理4時間後に行った．

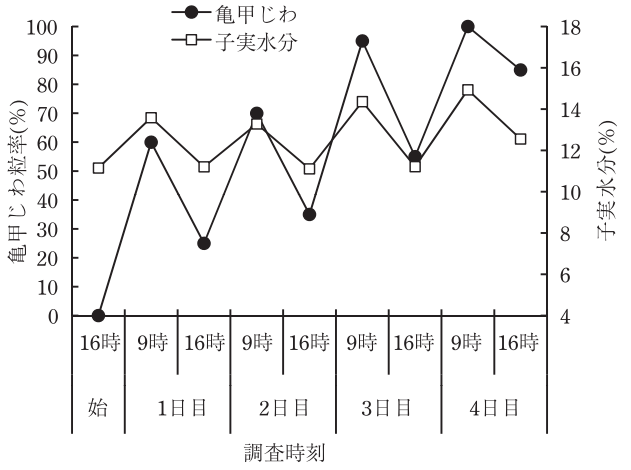



第3図　吸湿後の子葉と種皮の水分含有率の推移．
加湿条件は温度12.5℃－湿度95%．縦棒は標準誤差．

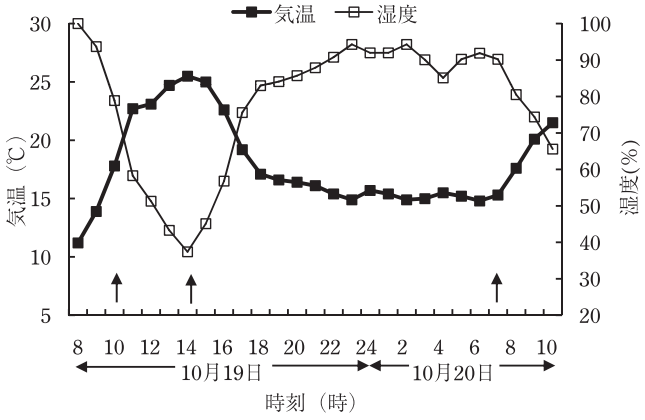
第1表　子葉と種皮の水分吸収速度．

| | | 吸湿処理開始後時間（分） | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0～15 | 15～30 | 30～60 | 60～120 | 120～180 |
| 水分吸収速度 | 種皮 | 0.213 | 0.101 | 0.072 | 0.004 | 0.008 |
| （%/分） | 子葉 | 0.004 | 0.008 | 0.019 | 0.002 | 0.005 |
| | | *** | *** | ** | ns | ns |

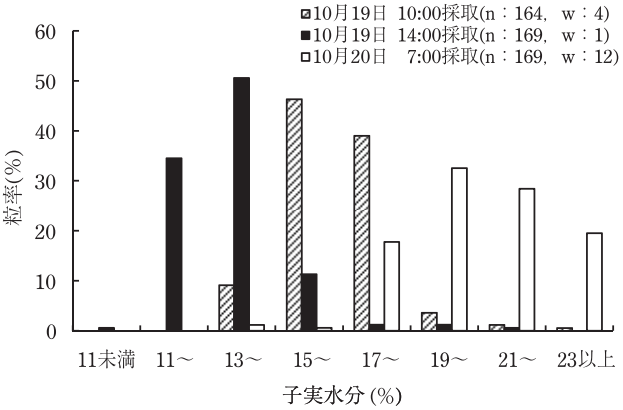
吸湿前の水分約12%，吸湿条件は温度12.5℃－湿度95%．
**，*** はそれぞれ1%，0.1%水準で有意差あり．nsは有意差なし．




第4図　乾・湿処理の繰り返しと亀甲じわの発生.
9時～16時は室内（室温20℃－湿度50％）に静置し，16時～9時は定温器内（温度12.5℃－湿度95％）に静置.
子実水分約11％の種皮が剥離した20粒を用いた.




第5図　晴天日の気温および湿度の変化.
2006年，新潟農総研気象観測値（長岡市）.
↑は試験4のサンプルを採取した時刻.




第6図　自然条件下におけるエンレイの子実水分の分布.
2006年，新潟農総研圃場（長岡市）.
凡例のn：調査粒数，w：亀甲じわ粒率（％）.

1表），1時間後の水分含有率は子葉が約1％増加したのに対して，種皮では約6％増加した（第3図）.

**試験3：乾・湿の繰り返しと亀甲じわ粒の発生**

剥離粒に吸湿処理を行うと，子実水分の増加に伴い亀甲じわ粒がみられ，その後，湿度の低い室内に放置すると子実水分の低下とともに，亀甲じわが消える粒としわのまま残る粒がみられた（第4図）．再度吸湿処理を行うと前回よりも亀甲じわが発生する粒が増加する傾向がみられ，乾・湿の繰り返しとともにしわが消えない粒が徐々に増加し，亀甲じわ粒の割合が増加した.

**試験4：圃場における子実水分変動の実態**

晴天日における子実水分の経時的な変動は大きく，日中の湿度の低下に伴い子実水分が13％以下になる粒もみられ，さらに11％以下まで低下した粒も確認された（第5図，第6図）．一方，晴天日であったが，夜間の湿度は90～100％と高く，早朝において結露が観察された．朝7時の子実水分は夜間の吸湿により日中よりも高く分布していた．また，亀甲じわ粒も早朝で多く，日中は少ない傾向が観察された．晴天日でも日中と夜間で，子実の乾燥と吸湿は繰り返されており，亀甲じわの発生と消滅が繰り返されると考えられた.

## 考　　察

ダイズのしわ粒について，収穫後の乾燥過程における発生については詳細な検討がされており（金子ら1988，大黒ら1997），乾燥によるしわ粒の発生機構として，子実内部の水分拡散と応力によりしわが発生すると考えられている（大豆乾燥調整マニュアル2000）．一方，収穫前の発生要因として，縮緬じわについては子実肥大期の養水分ストレス等（田渕2007，井上・高橋2006）が関係していることが示唆されている．しかし，亀甲じわについては収穫時期が遅れることにより増加するとの知見はあるものの（鳥居ら2006），立毛中の発生機構については検討されていない.

本試験の結果から，立毛中における亀甲じわ粒の発生機構としては，成熟期頃に晴天が続いた場合や刈遅れ等により，子実水分が13％以下，特に11％以下にまで乾燥した粒（第2図）が，その後，夜露や降雨により子実が吸湿する際に，子葉よりも種皮の吸湿直後の水分吸収速度が速いため（第3図），まず子葉から種皮が剥離する．さらに，種皮が吸湿を続けることにより種皮が伸長し，伸長した種皮が波打ち亀甲じわとなることが示唆された．このように，立毛中の亀甲じわの発生は収穫後の乾燥過程における内部からの水分拡散による発生機構（大豆乾燥調整マニュアル2000）と異なり，外部からの水分吸収に起因していると考えられた．また，一度，亀甲じわになった粒は，再度乾燥させるとしわが消える粒と消えない粒があった（第4図）ことから，日中の乾燥により一端しわが消える粒もあるが，夜露等により再度亀甲じわが発生し，その後も昼間の乾燥と夜の吸湿の繰り返しや（第6図），晴天日と雨天との繰り返しにより，亀甲じわの発生と消滅が繰り返され，徐々

に種皮の弾力性が失われ，亀甲じわへと固定されると考えられた．なお，自然条件下で，亀甲じわが早朝に多く，日中に少ない傾向がみられた（第6図）が，収穫後の乾燥過程で乾・湿の繰り返しを行わないように適正な機械乾燥を行えば，亀甲じわの発生には同一日内での収穫時刻による差はないものと考えられた．また，種皮の弾力性の違いについての要因は不明であるが，ミネラル含量としわ粒の発生について関連があるとの報告もあり（相澤ら2004，市川ら2004，増田ら2006），ミネラル含量の多少が乾・湿の繰り返しによる種皮の弾力性と関連している可能性も考えられ，今後の検討が必要である．

以上のことから，ダイズの立毛中における亀甲じわの発生は，成熟期頃に子実が乾燥と吸湿を繰り返すことにより，亀甲じわへと固定されると考えられ，亀甲じわの防止のためには成熟期以降，乾・湿の繰り返しをなるべく避けるために，刈遅れることなく，最低子実水分が13％以下になる前に，直ちに収穫することが重要となるものと考えられた．

## 引 用 文 献

相澤直樹・島田信二・鈴木雅光 2004. カルシウム施用と登熟期栽培条件がダイズのしわ粒発生に及ぼす影響. 日作紀 73（別1）：78－79.

大黒正道・澤村宣志・佐々木豊 1997. 高水分大豆の品質保持乾燥技術に関する研究. 北陸農試報 39：1－21.

大豆乾燥調整マニュアル平成12年度豆類シリーズ 2000. 全国農業改良普及協会, 東京. 3－32.

市川岳史・服部誠・浅野英明・田村良浩 2004. ダイズしわ粒の発生要因に関する研究. 第1報 しわ粒の特徴について. 北陸作物学会報 40：128－130.

井上健一・高橋正樹 2006. ダイズ子実肥大期の生育過程としわ粒発生率の関係. 北陸作物学会報 41：96－99.

金子均・諸橋準之助・遠藤武弘・種田貞義・今井悌三 1988. 不良気象下における大豆の収穫乾燥技術. 新潟農試研報 36：21－34.

菊池彰夫・村田吉平・田渕公清 1992. 1991年の秋期の長雨による大豆被害について 1. 被害粒発生の品種間差異と成分特性. 日作東北支報 35：95－96.

増田欣也・松尾和之・渡辺輝夫 2005. ダイズ品種サチユタカにおける種皮ミネラル成分としわ粒発生との関係. 関東東海北陸農業研究成果情報 平成17年度：38－39.

田渕公清 2007. 北陸地域におけるダイズのしわ粒など品質低下要因の解明と対策. 北陸作物学会報 42：140－143.

田村良浩 2007. 新潟県における大豆栽培の現状と課題. 北陸作物学会報 42：133－135.

鳥居俊夫・桑原恵利・池尻明彦・岡本賢一・中司祐典 2006. 大豆「サチユタカ」の高品質安定生産に向けたコンバイン収穫技術. 近畿中国四国農業研究成果情報 平成17年度：181－182.

**Effect of Seed Moisture Fluctuation after Maturation on Development of Soybean Seed with Tortoiseshell-pattern Wrinkles** :
Toru Sato, Makoto Hattori, Takafumi Ichikawa and Takao Tamura *(Niigata Agricultural Research Institute Crop Research Center, Nagaoka 940-0826, Japan)*

**Abstract** : The relationship between seed moisture fluctuation and development of seed with tortoiseshell-pattern wrinkles in a standing soybean plant was investigated. When the seed absorbed moisture after being dried to achieve a single seed moisture level of 13% or below, the seed coat became detached from the cotyledon. The moisture absorption rate of the seed coat immediately after moisture absorption was faster than that of the cotyledon. Subsequent repeated drying and moistening conditions caused repeated development and loss of tortoiseshell-pattern wrinkles, and the wrinkles gradually increased. These results suggested that when a seed absorbed moisture after being dried to achieve a single seed moisture level of 13% or below, the seed coat became detached from the cotyledon because of the difference in moisture absorption rates between the seed coat and cotyledon. Thus, it was assumed that further absorption of moisture caused development of tortoiseshell-pattern wrinkles. After that, although wrinkles temporarily disappeared in some seeds due to dryness during daytime, additional moisture, such as night-time dew, caused reappearance of tortoiseshell-pattern wrinkles. Subsequent repeated drying and moistening conditions caused repeated development and depletion of tortoiseshell-pattern wrinkles, leading to the loss of seed coat elasticity and establishment of permanent tortoiseshell-pattern wrinkles. These results imply the importance of harvesting plants immediately after seed maturation to prevent development of tortoiseshell-pattern wrinkles.

**Key words** : Cotyledon, Seed coat, Seed moisture, Soybean, Tortoiseshell-pattern wrinkle, Wrinkle seed.