

品質・加工

開花期の追肥と登熟期の環境条件が異なる形状の ダイズ裂皮粒発生に及ぼす影響

平井儀彦・津島洋・津田誠

(岡山大学大学院自然科学研究科農学系)

要旨：ダイズの裂皮粒発生を抑制する栽培法を確立するため、環境条件と子実の粒大が形状の異なる裂皮粒発生に及ぼす影響を調査した。開花期に、カルシウム肥料、ケイ酸肥料、あるいは窒素磷酸カリの化成肥料を与えた追肥区を設け、さらに、登熟期の9月14日から収穫期の10月24日までを10日毎の4期に分け、各期の気温が対照区より3～4℃高い高温区(9月14日から10日毎にH1区、H2区、H3区、H4区)、土壌を乾燥させた乾燥区(同様にD1-D4区)、土壌が過湿の過湿区(同様にW1-W4区)を設けた。その結果、高温区の精粒の裂皮粒率は子実肥大盛期にあたるH2区と子実肥大盛期後のH3区で高かった。また高温区では、種皮が不定型に裂ける不定形裂皮粒率が、粒大にかかわらずH2区、H3区、H4区で高かった。開花期のケイ酸追肥では、大粒化は認められなかったが、線状に種皮が裂ける線形裂皮粒率が高く、粒大別では7.9 mm以上の子実で高かった。登熟期の土壌水分の影響については、土壌乾燥が裂皮発生に及ぼす影響は小さかったが、過湿土壌では、W1区とW2区の裂皮粒率が低い傾向にあり、形状別ではW2区の不定形裂皮粒率が低かった。以上より、不定形裂皮粒と線形裂皮粒では発生環境が異なり、両裂皮粒では発生機構が異なると考えられた。

キーワード：高温、ケイ酸、線形裂皮、ダイズ、不定形裂皮、裂皮粒。

近年、ダイズ子実において裂皮粒やしわ粒などの障害粒による子実外観品質の低下が問題となっている。裂皮粒は外観の悪さから商品価格を下げるだけでなく、子実の吸水の不均一性から加工適性が低く(酒井 1990)、さらに種子の発芽率や(Burchett ら 1985, 安江・高橋 1985)、出芽速度が低い(安江・高橋 1985)。このため、裂皮粒の発生機構の解明および発生を抑制する栽培法の確立が求められている。

裂皮粒は、品種(朝日ら 1980, 朝日 1981a, 田岡ら 1984)によって発生率が異なり、栽培地(安江・木野村 1984)や登熟期間の高温(鈴木ら 1979, Keigly and Mullen 1986, 林ら 1996)、種子の早播き(朝日 1981b, 田岡ら 1984, 内川ら 2006)、開花期前後の低温(原ら 1993, Srinivasan and Arihara 1994, 林ら 1996)、登熟後期の子実の急速な乾燥(安江・高橋 1983, 平井 2003b)、子実の乾湿の繰り返し(Wolf ら 1981)、莢先熟した個体(平井 2003a)など様々な条件で発生率が高まることが報告されている。また、大粒化した子実で多発することから(朝日ら 1981, 安江・日比野 1984, Yaklich and Barla-Szabo 1993)、大粒化させる環境が裂皮粒の発生に影響すると考えられている(酒井 1990)。このため品種間での裂皮発生率の比較では、粒大と対応させて検討する必要性が指摘されているが(朝日ら 1981)、粒大を考慮して環境条件の影響を検討したものは少ない。また、安江・木野村(1984)は裂皮の形状を点形裂皮、線形裂皮、不定形裂皮の3種類に分類し、品種により主に発生する裂

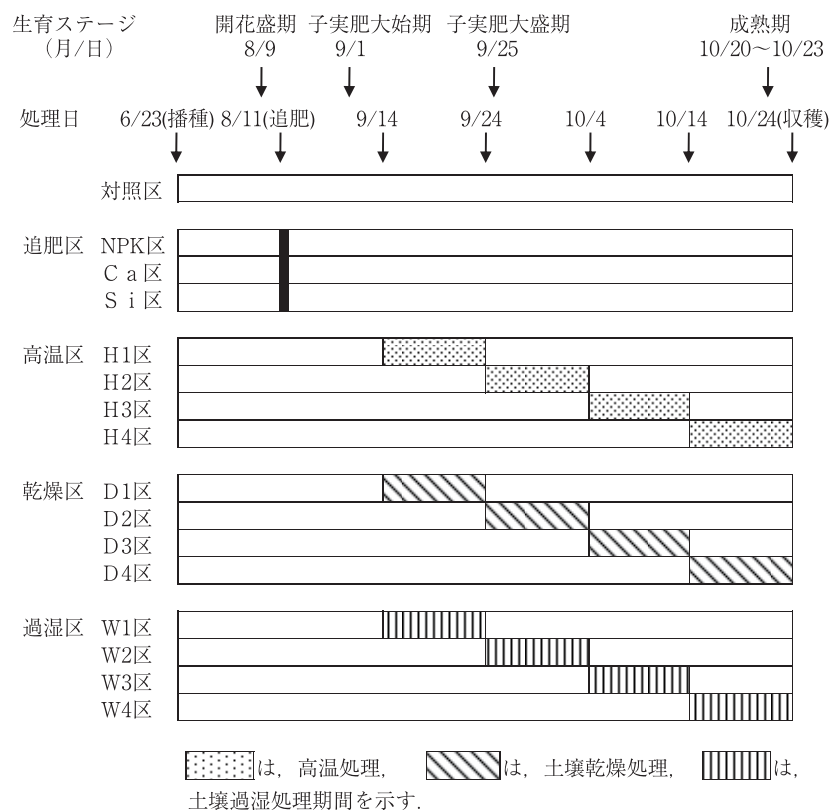
皮の形状が異なることを報告した。一方、しわ粒では縮緬じわと亀甲じわの2種類に分類され、その発生条件は異なる(田淵 2007, 佐藤ら 2008)。同様に裂皮粒の発生機構を解明するうえでは、裂皮の形状に分けた解析が必要と考えられるが、裂皮の形状と環境条件との関係についてはこれまで調べられていない。

そこで本研究では、開花盛期以降に異なる環境条件下でダイズを生育させ、裂皮が発生しやすい環境と時期を検討するとともに、大粒化を通じて裂皮が発生しているかどうかを解析し、さらに裂皮の形状と環境条件との関係についても検討した。

材料と方法

2004年6月23日に元肥として化成肥料(くみあい粒状固形肥料30号N-P-K; 10-10-10)2gと化成肥料(くみあい苦土入り磷酸加里化成高度40号, N-P-K; 0-20-20)1.7gを土壌に混ぜ、底に不織布を敷いた4Lポットにダイズ品種サチユタカを2粒ずつ播種し、野外で栽培した。播種2週間後に1ポットあたり一本に間引いた。灌水は出芽以降、毎日午前と午後の2回行った。生育ステージについては、Fehr and Caviness (1977)の判断基準により、開花始期、開花盛期、子実肥大始期、子実肥大盛期、成熟期を調べた。

開花期の8月11日に、追肥区として、化成肥料(くみあい粒状固形肥料30号)を1ポットあたり3g施用したNPK区、 $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を2g施用したCa区、シリカゲル肥料(富



第1図 処理区の設定の模式図。

第1表 各処理区の日平均気温と土壤含水率の時期別平均値。

		処理期間 (月 / 日)			
		9/14-9/23	9/24-10/3	10/4-10/13	10/14-10/24
気温 (℃)	対照区	24.6 ± 0.8	14.9 ± 1.5	9.5 ± 0.9	14.6 ± 0.3
	高温区	28.2 ± 0.8	14.4 ± 1.3	38.4 ± 3.8	18.6 ± 0.4
土壤含水率 (%)	対照区	22.4 ± 0.5	14.8 ± 1.1	11.2 ± 1.1	17.2 ± 2.0
	高温区	19.8 ± 0.3	18.1 ± 0.5	11.6 ± 0.1	16.4 ± 0.8
	乾燥区	26.1 ± 0.5	16.3 ± 1.1	35.0 ± 3.3	11.5 ± 0.7
	過湿区	23.7 ± 0.4	16.5 ± 0.4	38.3 ± 0.1	44.4 ± 2.3

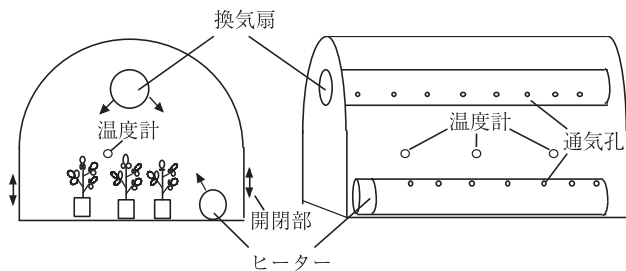
数値は期間別の日平均気温あるいは土壤含水率の平均値と標準誤差を示す。

士シリシア化学社製、スーパーイネルギー)を10g施用したSi区を設けた(第1図)。また子実肥大期の9月14日から、側面を開放したビニールハウス(間口4m×奥行16.5m)内に全てのポットを移した。ハウス内のポット配置は、1処理区を間口方向に6個体で2列とした。収穫期の10月24日までを10日毎の4期に分け、対照区の気温よりも常に3~4℃高く制御したビニールハウス(4.6m×16.5m)内にポットを移動して10日間の高温処理を行う高温区(9月14日から10日間ごとにH1区、H2区、H3区、H4区)、10日間の灌水を2日に1回に制限した乾燥区(同様にD1-D4区)、水の入った5Lバケツにポットを入れて土壤の2/3を水に浸した過湿区(同様にW1-W4区)を設けた(第1表)。何れの処理区も12個体とした。処理期間中の土壤含水率は、水分計(DECAGON製 HydroSense)

を用い、その日の灌水前の午前8時から9時の間にセンサー部位をポットの縁と植物体の中央付近の土壤に刺して測定した。高温区の気温は、ビニールハウス内を換気扇(フルタ電機製 ISDM50A)、ヒーター(愛知電機製 CA-6T)を制御システム(ESD社製 GK-100)とパソコンを用い、常に対照区より3~4℃高く制御した(第2図)。換気扇には、直径48cm長さ16.5mの円筒状のビニールを取り付け、換気扇の反対側の末端を塞ぎ、約30cm間隔で直径約5cmの穴を2つ開け、外気をハウス内に導入した。ヒーターには直径35cm長さ16.5mの円筒のビニールを取り付け、約30cm間隔で直径約4cmの穴を1つ開けて、ハウス内を加温した。ビニールハウスの側面は、日中は約30cm開け、夜間は約10cm開けた。ハウス内には3台の扇風機を設置し、常に稼働させて空気を攪拌した。植物体は、ハウ

スの側面から1 m以上離して配置した。ハウス内の気温は奥行き方向に5 m間隔で3カ所、地上1 mの高さの位置に温度計を設置し測定した。なお、この3カ所の日平均気温の差は最大で0.2℃であった。

10月24日に各処理区12個体を採取し、茎を80℃で乾燥し、茎乾物重を測定した。子実の直径7.3 mmと7.9 mmの丸目ふりいで分け、7.3 mm以下の子実の割合は低いことから(高橋ら2003)、7.3 mm以上を精粒とし、精粒を大きさ毎に整粒、線形裂皮粒、不定形裂皮粒、病虫害粒に分け、それぞれの数と重さを測定した。線形裂皮粒は種子胴回りの1/4以上の線形の亀裂を有する子実とし、不定形裂皮粒は、線形以外の裂皮面積が、へその大きさ以上ある子実を目視で選び、線形と不定形の両方を有する子実は、専有する面積の広い方に振り分けた。また、統計処理として、各区12反復の平均値と対照区の平均値をt検定により比較した。



第2図 高温処理ハウスの模式図。
図中の矢印は風向を示す。

結 果

1. 気象概況と生育ステージの推移

2004年夏期の気温については、7月は平年に比べて2℃近く高かったが、8月から10月の気温は平年並みであった。生育ステージは、各処理区ともほぼそろって推移し、開花始期7月31日、開花盛期8月9日、子実肥大始期は9月1日、子実肥大盛期9月25日、成熟期10月20日～23日であり、おおむね平年並みであった。

2. 追肥の影響

8月11日に追肥した3区を対照区と比較すると、NPK区とCa区で一株精粒数が低く一株精粒重には差がなかったが、茎乾物重はNPK区で高く、Ca区でも高い傾向にあった(第2表)。また、Ca区では、精粒一粒重が高かった。Si区では、いずれも対照区と差がなかった。7.9 mm以上の子実の割合は、3区とも対照区と差がなかった(第3表)。精粒全体の裂皮粒率は3区とも対照区と差がなかったが(第2表)、形状別でみると線形裂皮粒率はSi区で24.8%と対照区の17.2%に比べて高く、粒大別では7.3～7.9 mmの子実で対照区と差はなかったが、7.9 mm以上では30.1%と対照区の18.6%に比べて高かった(第3表)。不定形裂皮粒率は、何れの区とも対照区と差がなかった。

3. 高温の影響

一株精粒数と一株精粒重は、H1区とH4区で低かったが、

第2表 各処理がダイズの農業形質と裂皮粒率に及ぼす影響。

	一株精粒数 (個)	一株精粒 (g)	重茎乾物重 (g)	精粒一粒重 (g)	粒茎比	裂皮粒率 (%)
対照区	84.4	26.3	14.7	0.304	1.92	38.1
NPK区	70.0*	22.1	17.9*	0.313	1.36**	43.2
Ca区	67.8*	21.5	17.1	0.315*	1.60	46.4
Si区	81.7	25.8	15.9	0.307	1.80	48.8
H1区	63.1**	19.8**	15.3	0.307	1.52	51.6
H2区	80.4	25.7	15.9	0.310	1.77	55.5*
H3区	81.4	26.3	14.4	0.313	1.88	53.6*
H4区	66.2**	21.2*	12.7	0.307	1.90	45.2
D1区	43.5**	13.1**	20.0*	0.300	0.81**	44.4
D2区	57.7**	17.3**	17.6	0.301	1.09**	37.1
D3区	70.3*	20.8**	14.5	0.298	1.72	30.8
D4区	86.7	27.2	14.0	0.309	2.00	44.6
W1区	61.0**	18.3**	15.1	0.305	1.33**	26.8
W2区	84.9	25.5	14.6	0.301	1.89	24.8
W3区	85.2	24.9	15.6	0.301	1.69	33.1
W4区	89.5	27.2	14.7	0.308	1.88	36.6

* **はそれぞれ5%、1%水準で対照区との間に有意差があることを示す。

粒茎比の値は、1株精粒重/茎乾物重を個体毎に算出した後に平均値を求めたため、表中の1株乾物重平均値と茎乾物重平均値による算出値とは異なる。

第3表 各処理におけるダイズの粒大別の子実割合(%)と線形裂皮粒率及び不定形裂皮粒率(%).

	精粒全体		7.3～7.9 mm			7.9 mm以上		
	裂皮粒率		子実割合	裂皮粒率		子実割合	裂皮粒率	
	線形	不定形		線形	不定形		線形	不定形
対照区	17.2	20.9	35.7	15.9	11.9	64.3	18.6	25.1
NPK 区	17.5	25.7	35.3	10.6	15.7	64.7	20.8	29.7
Ca 区	21.3	25.1	38.0	14.5	12.3	62.0	20.0	32.3
Si 区	24.8*	24.0	32.6	15.1	15.3	67.4	30.1**	27.7
H1 区	23.8	27.8	35.4	20.7	14.8	64.6	24.7	33.7
H2 区	16.2	39.3**	33.9	11.8	29.2**	66.1	18.9	43.1**
H3 区	17.7	35.9**	26.8	17.9	27.3**	73.2	18.3	38.6*
H4 区	9.4*	35.8**	32.2	9.9	28.1**	67.8	9.4**	38.9*
D1 区	14.0	30.4	52.8**	7.5*	22.8*	47.2**	20.3	37.4
D2 区	14.8	22.3	47.3	9.0	9.0	52.7	17.6	28.9
D3 区	11.9	19.0	52.6**	11.6	15.3	47.4**	12.2	23.1
D4 区	19.7	24.9	36.0	12.0	17.1	64.0	23.8	28.0
W1 区	13.4	13.4	45.0	6.9*	7.7	55.0	17.2	17.4
W2 区	14.1	10.7*	44.7	9.0	6.2	55.3	19.1	14.1
W3 区	16.1	17.0	41.7	12.6	11.7	58.3	19.1	20.2
W4 区	12.7	24.0	39.9	13.1	16.5	60.1	14.4	26.8

*, ** はそれぞれ5%, 1%水準で対照区との間に有意差があることを示す.

茎乾物重および精粒一粒重は何れの区も対照区と差がなかった(第2表). また, 7.9 mm 以上の子実の割合は, 高温処理の影響を受けなかった(第3表). 精粒全体の裂皮粒率は, H2区とH3区でそれぞれ55.5%と53.6%と対照区の38.1%と比べて高かった. 形状別に見ると, 線形裂皮粒率はH4区で9.4%と低かった. 不定形裂皮粒率はH2区, H3区, H4区でそれぞれ39.3%, 35.9%, 35.8%と対照区の20.9%より高く, 粒大別の7.3~7.9 mm および7.9 mm 以上の何れの子実もこれら3区で高かった(第3表).

4. 乾燥土壌の影響

一株精粒数と一株精粒重は, D1区, D2区, D3区で低く, 茎乾物重がD1区で高かった(第2表). 乾燥区の4区とも精粒一粒重は対照区と差がなかったが, D1区とD3区では, 7.3~7.9 mm の子実の割合が増加し, 7.9 mm 以上の子実の割合が低下した(第3表). 精粒全体の裂皮粒率, および線形裂皮粒と不定形裂皮粒に分けた場合も対照区との差は認められなかったが, 粒大別ではD1区の7.3~7.9 mm の子実で線形裂皮粒率が低く, 逆に不定形裂皮粒率は高かった(第3表).

5. 過湿土壌の影響

一株精粒数と一株精粒重は, W1区で低かったが, その他の形質は何れの区も対照区と差がなかった(第2表). 精粒全体の裂皮粒率は, 対照区と差がなかったがW1区とW2区でそれぞれ26.8%と24.8%と低い傾向にあり, 形

状別では, 不定形裂皮粒率がW2区で10.7%と低かった(第3表). また, 粒大別では, W1区の7.3~7.9 mm の線形裂皮粒率が低かった.

考 察

裂皮粒は, 大粒で多発することが知られており(朝日ら1981, 安江・日比野1984, Yaklich and Barla-Szabo 1993), 子実の大粒化は裂皮粒率の増加を引き起こす. このため, 本研究で設定された環境条件が, 粒大を通じて裂皮粒率に影響したかどうかを検討する必要がある. 各処理区の精粒一粒重は, Ca区で高かったが, 他の区では対照区と差がなかった(第2表). また, 7.9 mm 以上の子実の割合は, D1区とD3区で低下したが, 他の区では対照区と差がなかった(第3表). 精粒全体の裂皮粒率はH2区とH3区で高まり(第2表), 両区の裂皮粒率の増加は, 粒大の変化を通じて生じたものではないと考えられた. また, 粒茎比が低いと裂皮粒率が高いことが報告されているが(平井2002, 内川ら2006), 本研究では, 粒茎比はD1区, D2区およびW1区で低下したが(第2表), 両者の間に一定の関係は認められなかった. 粒茎比は, 個体の粒数や粒重の影響を受ける指標であり, 本研究では各処理において粒大にほとんど差がなかったことが, 両者の間に負の相関関係が認められない理由と考えられた.

鈴木ら(1979)は登熟期の積算温度が高い年に裂皮粒発生が高まること, Keigly and Mullen (1986)は, 開花期以降に与えた高温期間に比例して裂皮粒率が増加することを報告した. 本研究でも, 登熟期の高温処理において裂皮粒率

が高まった(第2表, 第3表)。高温の影響が大きい時期を子実肥大期から収穫期までにおいて調べた結果, H2区とH3区で裂皮粒率が高まった(第2表)。このことは、高温による裂皮発生は登熟期の積算温度に影響されるだけでなく、裂皮が発生しやすい時期があることを示しており、子実肥大盛期から成熟期にかけての時期に高温の影響が大きいと考えられた。さらに、登熟期の高温により、線形裂皮粒率は高まらないが、H2区、H3区、H4区において不定形裂皮粒率が高まった(第3表)。安江・木野村(1984)は、裂皮の形状が品種や産地で異なることを報告したが、これまで環境条件と裂皮の形状との関係についての報告は無く、本研究において登熟期の高温では不定形裂皮粒が増加することが明らかになった。また林ら(1996)は収穫前3週間の高温処理で裂皮粒率が高まり、高温下での子実の大粒化が裂皮粒率に密接に関係することを報告している。本研究においても7.9 mm以上で裂皮粒率は高いが(第3表)、高温処理による精粒一粒重の増大ならびに7.9 mm以上の子実割合の増加は認められず(第2表, 第3表)、さらに裂皮粒率は7.3~7.9 mmの子実においても対照区に比べて高かった(第3表)。このことから、登熟期の高温による裂皮発生は、子実が大きいと裂皮しやすいが、高温による大粒化を通じて発生率が高まるのではなく、粒大以外の要因の影響も受けることが明らかになった。粒大以外の裂皮の発生原因としては、子実の急速な乾燥(安江ら1983, 平井2003b)や種皮の質的な形質の差(田中ら1983)が関係すると指摘されている。登熟期に高温を与えた条件において、子実の急速な乾燥や種子組成の変化と裂皮発生との関係について、今後検討する必要があるだろう。

開花期の追肥の種類を変えた処理では、Si区の7.9 mm以上の子実で線形裂皮粒率が高まった。精粒一粒重がSi区で高まらなかったことから(第2表)、Si処理による線形裂皮粒率の増加には、大粒化以外の要因も関係していると考えられる。高温処理でも大粒化以外の要因の影響が考えられるが、高温処理とは異なり、Si区の7.3~7.9 mmの子実では裂皮粒率が対照区と差がなかった。このように不定形裂皮粒と線形裂皮粒では、発生条件の違いだけでなく、粒大の影響の受けやすさも異なっており、線形裂皮は条件によって7.9 mm以上の粒で発生しやすいが、不定形裂皮は粒大にかかわらずある環境では発生しやすくなると考えられ、両裂皮粒では発生機構も異なると考えられる。ダイズは、ケイ酸を積極的に吸収する植物種と流入を抑制する植物種の中間の植物に分類されており、根から吸収されたケイ酸は地上部に移行する(Miyake and Takahashi 1985)。イネでは、吸収されたケイ酸は、葉のクシクラ層に沈着し(吉田1965)、さらに、ペクチン、ヘミセルロース、リグニンなどと結合して細胞壁成分としても存在することが報告されている(Inanaga and Okasaka 1995)。ダイズの種皮におけるケイ酸蓄積についてはこれまで報告されていないが、ケイ酸施与が種皮細胞壁へのケイ酸沈着を通じて、

線形裂皮の発生に関与した可能性がある。また、開花期の窒素追肥は、莢数を増加させる効果が高いことから(Brevedanら1978)、追肥により精粒一粒重や粒大別の子実割合が変化すると考えられたが、NPK区では精粒一粒重および粒大別の子実割合は対照区と差が無く、裂皮粒率も対照区と差がなかった(第2表, 第3表)。一方、しわ粒の発生はCa施与により低下する事が報告されており(市川ら2004, 相澤ら2006)、種皮におけるペクチンのメチルエステル化度の低下に伴う分子架橋の増大がしわ粒の発生抑制に関係すると考えられている(相澤ら2006)。このような種皮ペクチンの変化は裂皮発生にも影響すると考えられたが、Ca区の裂皮粒率は対照区と差が認められず(第2表, 第3表)、しわ粒とは異なり、Ca施与による裂皮発生への抑制効果は認められなかった。

土壤水分と裂皮発生との関係について調べた報告は少ない。朝日(1981c)は登熟期の土壤乾燥条件では適湿土壤条件に比べて、子実の百粒重が低下し、このため裂皮粒率が低下することを報告した。本実験においては、子実重はいずれの時期の乾燥処理でも低下しなかったが、D1区の7.3~7.9 mmでのみ不定形裂皮粒率が高まり、線形裂皮粒率は低下した(第3表)。しかし、粒大別に分けない場合には乾燥区で有意差は認められず、また、他の時期の乾燥処理では不定形裂皮粒率は高まらなかったことから、登熟期の土壤乾燥が裂皮発生に及ぼす影響は小さいと考えられた。なお、茎乾物重はD1区で最も高かった(第2表)。登熟期のダイズの茎乾物重と茎の非構造化炭水化物含有率は、登熟期から成熟期にかけて低下し、茎から子実への炭水化物の再転流の可能性が示唆されており(馬場ら2003)、D1区における高い茎葉部重は、土壤乾燥処理により炭水化物の転流が抑制されたと考えられる。一方、過湿土壤では、W1区とW2区の裂皮粒率は低い傾向にあり(第2表)、形状別ではW2区の不定形裂皮粒率が低下した(第3表)。この低下には、高温処理やSi施与と同様に粒大以外の要因が関係すると考えられる。高温処理により不定形裂皮粒率が高まったことを考えると、過湿土壤処理ではポットの2/3が水に浸かっており、根域の温度の低下を通じて不定形裂皮粒率が低下した可能性もあり、この点についての検討が必要であろう。

近年、イネでは、高温による玄米品質の低下が問題になっており(森田2008)、今後、気温の上昇に伴い、ダイズにおいても不定形裂皮粒の発生がさらに問題になると考えられる。早播きよりも遅播きで裂皮粒率が低下することが知られており(朝日1981b, 田岡ら1984, 内川ら2006)、登熟期の高温を避けるためにも、遅播きによる登熟期の遅延は裂皮発生の抑制に有効と考えられる。また、線形裂皮粒がケイ酸追肥により多発したことから、今後は、ケイ酸の施肥量と線形裂皮粒の発生との関係を検討していく必要がある。過湿土壤処理では、裂皮粒率が低下する傾向にあった。しかし、ダイズは湿害を受けやすいことから(杉本ら

1988), 土壌の過湿による裂皮抑制を行うためには, さらなる検討が必要である. 以上より, 本研究では子実肥大盛期から成熟期の高温により裂皮粒, 特に不定型裂皮粒の発生が多くなること, また, 裂皮粒の形状によって発生環境が異なることが明らかとなった. 技術対策としては, 登熟期の高温を避けるために遅播することが有効であると考えられた.

引用文献

- 相澤直樹・鈴木雅光・小林英明・斎藤博行・斎藤文之 2006. カルシウム施用がダイズのしわ粒発生に及ぼす影響. 山形農試研報 38 : 59-67.
- 朝日幸光・井口武夫・財津昌幸 1980. ダイズ品種の種皮の亀裂について. 第1報 秋ダイズ品種における亀裂発生調査. 九州農業研究 42 : 36.
- 朝日幸光・井口武夫・財津昌幸 1981. ダイズ品種の種皮の亀裂について. 第2報 百粒重と亀裂粒数歩合との関係. 九州農業研究 43 : 41.
- 朝日幸光 1981a. ダイズ品種の種皮の亀裂(裂皮)について. 第3報 裂皮粒数歩合及び裂皮程度の品種間差異. 東北農業研究 29 : 109-110.
- 朝日幸光 1981b. ダイズ品種の種皮の亀裂(裂皮)について. 第4報 播種期・栽植密度の相違による裂皮粒数歩合の差異. 東北農業研究 29 : 111-112.
- 朝日幸光 1981c. ダイズ品種の種皮の亀裂(裂皮)について. 第5報 土壌の乾湿に対する品種間差. 東北農業研究 29 : 113-114.
- 馬場彰子・鄭紹輝・松永亮一・井上眞理・古屋忠彦・福山正隆 2003. 西南暖地向けのダイズ新品種サチユタカの乾物生産特性. 日作紀 72 : 384-389.
- Brevedan R.E., D.B. Egli and J.E. Leggett 1978. Influence of N nutrition on flower and pod abortion and yield of soybeans. Agron. J. 70 : 81-84.
- Burchett, C.A., W.T. Schapaugh, C.B. Overley and T.L. Walter 1985. Influence of etched seed coats and environmental conditions on soybean seed quality. Crop Sci. 25 : 655-660.
- Fehr, W.R. and C.E. Caviness. 1977. Stages of soybean development. Coop. Ext. Ser. Agric. Home Econ. Exp. Sta. Iowa State Univ. Spec. Rep. 80 : 12.
- 原正紀・林高見・鈴木健策 1993. 開花期の低温処理による大豆裂皮粒の多発とその品種間差異. 東北農業研究 46 : 135-136.
- 林高見・鈴木健策・村田吉平・原正紀 1996. 異なる温度条件で発生した大豆裂皮粒の粒重の分布. 東北農業研究 49 : 85-86.
- 平井幸 2002. 播種期と栽植様式の違いが大豆「サチユタカ」の収量および品質に及ぼす影響. 日作中支集録 43 : 34-35.
- 平井幸 2003a. 岡山県における大豆サチユタカの品質変動要因. 1 成熟異常と裂皮粒の発生について. 日作紀 72 (別1) : 186-187.
- 平井幸 2003b. 岡山県における大豆サチユタカの品質変動要因. 2 急速な乾燥による裂皮粒の発生. 日作紀 72 (別1) : 188-189.
- 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. 北陸作報 40 : 128-130.
- Inanaga, S. and A. Okasaka 1995. Calcium and silicon binding-compounds in cell-walls of rice shoots. Soil Sci. Plant Nut. 41 : 103-110.
- Keigley, P.J. and R.E. Mullen 1986 Changes in soybean seed quality from high-temperature during seed fill and maturation. Crop Sci. 26 : 1212-1216.
- Miyake, Y. and E. Takahashi 1985. Effect of silicon on the growth of soybean plants in a solution culture. Soil Sci. Plant Nut. 31 : 625-636.
- 森田敏 2008. イネの高温登熟障害の克服に向けて. 日作紀 77 : 1-12.
- 酒井真次 1990. 大豆障害粒の発生防止技術. 農業技術 45 : 481-485.
- 佐藤徹・服部誠・市川岳史・田村隆夫 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. 日作紀 77 : 457-460.
- Srinivasan, A. and J. Arihara 1994. Soybean seed discoloration and cracking in response to low temperatures during early reproductive growth. Crop Sci. 34 : 1611-1617.
- 杉本秀樹・雨宮昭・佐藤亨・竹之内篤 1988. 水田転換畑におけるダイズの過湿障害. 第1報 土壌の過湿処理が乾物生産と子実収量に及ぼす影響. 日作紀 57 : 71-76.
- 鈴木光善・高橋英一・宮川英雄 1979. 大豆の裂皮特性と気象条件による発生変異. 東北農業研究 25 : 59-60.
- 田淵公清 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. 北陸作報 42 : 140-143.
- 高橋将一・松永亮一・小松邦彦・中澤芳則・羽鹿牧太・酒井真次・異儀田和典 2003. ダイズ新品種「サチユタカ」の育成とその特性. 九州沖縄農業研究センター報告 45 : 15-39.
- 田中滋郎・古明地通孝・財津昌幸 1983. ダイズ子実の生長と裂皮発生との関係. 九州農業研究 45 : 26.
- 田岡昭敏・中西松太郎・小野貞芳・池田鐘一 1984. 大豆種子の裂皮に関する研究. 第2報 品種・作期による裂皮発生について. 日作四国支紀 17 : 49-52.
- 内川修・福島裕助・佐藤大和・田中浩平・松江勇次 2006. ダイズ「サチユタカ」における裂皮粒の発生と播種時期, 栽植密度との関係. 日作紀 75 : 23-27.
- Wolf, W.J., F.L. Baker and R.L. Bernard 1981. Soybean seed-coat structural features-pits, deposits and cracks. Scanning Electron Microscopy : 531-544.
- Yaklich, R.W. and G. Barlaszabo 1993. Seed coat cracking in soybean. Crop Sci. 33 : 1016-1019.
- 安江多輔・日比野哲美 1984. ダイズ種子の裂皮発生機構とその防止に関する研究. 第2報 遮光および剪葉処理と裂皮発生並びに収量関連形質との関係. 岐阜大農研報 49 : 1-10.
- 安江多輔・木野村直行 1984. ダイズ種子の裂皮発生機構とその防止に関する研究. 第1報 裂皮粒率の産地および品種間差異. 日作紀 53 : 87-93.
- 安江多輔・高橋渡 1983. ダイズ種子の熟度および乾燥条件と裂皮発生. 日作東海支部研究梗概 96 : 7-12.
- 安江多輔・高橋渡 1985. ダイズ種子の裂皮発生機構とその防止に関する研究. 第3報 裂皮が種子の発芽及び出芽に及ぼす影響. 岐阜大農研報 50 : 1-6.
- 吉田昌一 1965. 水稻体内におけるケイ素の存在様式と生理的意義に関する研究. 農技研報 B 15 : 1-58.

Effects of Fertilization at Flowering Stage and Environmental Condition during Seed-Filling Stage on Soybean Seed Coat Cracking of Different Types : Yoshihiko HIRAI, Hiroshi TSUSHIMA and Makoto TSUDA (*The Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University*)

Abstract : The effects of fertilization at the flowering stage, soil moisture and high temperature during the seed-filling stage on seed coat cracking of different types in soybean were investigated. For topdressing, calcium, silicon or NPK was applied at the flowering stage. For temperature and moisture, period from 14 September to 24 October was divided into 4 periods of 10 days in each treatments, the plants were exposed to 3–4°C higher temperature (H1–H4), dried soil (D1–D4) or wet soil (W1–W4) during each period. The cracked seeds increased in H2 and H3, meaning that the seeds are easily cracked by high temperature at R6 to R7 stages. The cracked seeds of irregular type increased in each of H2, H3 and H4 irrespective of seed size. The frequency of cracked seeds of line type was high in large seeds treated with silicon, but the seed weight was not affected by silicon treatment. The effect of dried soil on cracking was low, while W1 and W2 tended to decrease the frequency of cracked seeds and W2 decreased the cracked seeds of irregular type. It was concluded that the effects of environmental condition on cracking vary with the type of cracking, and the physiological mechanism of cracking may vary with the cracking type.

Key words : High temperature, Irregular-type seed coat cracking, Line-type seed coat cracking, Seed coat cracking, Silicon Soybean.
