

2007年産丹波黒子実にみられた裂皮粒の品質特性

廣田智子*・澤田富雄**・永井耕介*

要 約

2007年産丹波黒子実において多く発生した裂皮粒について、その外観品質、成分特性、煮豆への加工適性について調査した。

- 1 2007年産丹波黒子実中に占める正常粒、裂皮粒の割合(重量比)は、2006年産(正常粒80.3%、裂皮粒11.4%)に比べて正常粒の割合(24.1%)が低く、裂皮粒の割合(61.6%)が高かった。2007年産丹波黒子実でみられた裂皮の種類は、そのほとんどが種皮に網目状の小さな亀裂が生じる不定形裂皮であった。裂皮症状は子実側面の特定位置にあらわれた。
- 2 裂皮粒は正常粒に比べて百粒重、子実の長さ、長さ/幅比が大きかった。正常な乾燥子実の形状は球状体に近いが、裂皮程度の大きい粒の形状は長い楕円体であった。
- 3 2007年産丹波黒子実の裂皮粒は正常粒に比べて奇形した子葉の割合が高く、裂皮程度の大きい粒(裂皮程度大・程度中)では子葉奇形率が80%を超えた。
- 4 裂皮粒(裂皮程度中)の成分は正常粒と比べてタンパク質含量がやや高く、糖含量はやや低かったが、食味には影響しない程度であった。煮豆加工において、食品添加物である硫酸第一鉄の添加により裂皮部周辺の種皮の色抜けが防止できた。

Quality of Black Soybean (Tanbaguro) Seeds with Cracked Seed Coat Harvested in 2007

Tomoko HIROTA, Tomio SAWADA and Kosuke NAGAI

Summary

Qualities, chemical compositions and the processing suitabilities for boiled beans were investigated into black soybean seeds with cracked seed coat (cracked seeds) harvested in 2007.

- (1) Black soybean seeds harvested in 2007 showed lower normal seeds rate (24.1%) and higher cracked seeds rate (61.6%) than those in 2006 (80.3% of normal seeds rate and 11.4% of cracked seeds rate). Most of cracked seeds were composed of irregular type.
- (2) 100 seeds weight of cracked seeds was higher than that of normal seeds. Cracked seeds were ellipsoidal shape as compared to normal seeds with spherical shape.
- (3) Deformed cotyledon rate (more than 80%) of cracked seeds was much higher than that of normal seeds.
- (4) Cracked seeds showed slightly higher protein contents and slightly lower total sugar contents (sucrose and oligosaccharide contents) than normal seeds. In boiled beans processing, addition of Iron(II) sulfate prevented discoloring around the crack of seed coat.

キーワード：丹波黒，裂皮，品質，子葉奇形

緒 言

丹波黒は大粒，食味の良さ，煮豆の軟らかさ³⁾から煮豆用ダイズの最高級品として位置づけられており，兵庫

県を代表する特産物のひとつとしてその生産が振興されている。

2007年産の丹波黒子実において種皮の側面に網目状に小さな亀裂が多く生じる障害(裂皮)が西日本の各地で多発した。裂皮程度の大きい粒は外観品質が悪いというだけでなく，煮豆加工において製品の品質劣化や加工作業の支障を引き起こす原因ともなる⁶⁾。

2008年8月29日受理

* 兵庫県立農林水産技術総合センター食品加工流通部

** 兵庫県立農林水産技術総合センター北部農業技術センター

丹波黒子実の裂皮性は「やや難」に分類されており、平年では裂皮の発生はほとんどみられないが、2007年以前では1999年に裂皮の多発が確認されており、年次により多発する年がある。ダイズ子実の裂皮についてはサチユタカなど易裂皮性品種の報告^{9),12)}は多いが、丹波黒子実の裂皮についての報告はこれまでみられない。また、裂皮粒の加工面での品質や成分特性についても詳細な報告はない。

丹波黒子実の裂皮発生要因の解明とその対策として栽培面での改善を中心とした研究が検討される中、その基礎となるべき丹波黒子実裂皮粒の品質特性を明らかにするため、本報では2007年産丹波黒子実にみられた裂皮粒の外観品質、成分特性、煮豆加工適性について調査した。

材料及び方法

1 供試材料

試料は兵庫県立農林水産技術総合センター北部農業技術センター（兵庫県朝来市）において2006年、2007年に栽培されたダイズ「丹波黒（系統：兵系黒3号）」子実を用いた。2006年産子実は冷蔵庫（約0℃）で約1年間保存していた試料を用いた。

2007年産子実にみられた裂皮の種類は、そのほとんどが種皮の側面に網目状に小さな裂皮が生じる不定形裂皮であった。そこで裂皮程度の評価は、種皮の側面に網目状の小さな裂皮が広範囲で多くみられるタイプ（裂皮程度大）、網目状の小さな裂皮が一部のみみられるタイプ（裂皮程度中）、種皮の側面またはへそのあたりに1～2か所程度小さな点形の裂皮がみられるタイプ（裂皮程度小）および種皮の側面が茶色に色抜けしたタイプ（茶斑）の4タイプに分類した（図1）。

2 測定・分析方法

(1) 裂皮粒の割合、子実の形状

2006年および2007年産子実（無選別）に含まれる正常粒、裂皮粒（裂皮程度大、程度中、程度小）、茶斑粒、その他規格外品（割れ、虫食い等）の割合を調査し、重量比で表示した。調査は子実500gについて2反復行った。

2006年産正常粒および2007年産正常粒、裂皮粒（程度大、程度中、程度小）、茶斑粒について、百粒重と子実の形状を調査した。百粒重は水分10%換算値で示し、調査は3反復行った。子実の大きさは長さ、幅、厚さ、重量について調査し、長さ/幅比を求めた。裂皮（茶斑）症状の中心位置は、珠孔からへそに対して垂直な方向の距離（a）、珠孔からへそに対して平行な方向の距離（b）で表示した。裂皮（茶斑）症状位置の調査方法を図2に

示す。調査は各10粒について2反復行った。

(2) 浸漬後の子実の形状、色調、子葉奇形率

子実は重量に対して5倍量の水を添加して25～16時間浸漬させた後、子実の形状（長さ、幅、厚さ、重量、長さ/幅比）、色調を調査した。子実の形状の調査は各10粒について2反復行った。浸漬後の種皮色は分光式色差計（日本電色工業製SE2000型）を用いて測定した。裂皮（茶斑）症状がみられた位置の種皮色についてCIELab表色系によるL値（明度）、a値（+赤色度～-緑色度）、b値（+黄色度～-青色度）について測定し、彩度として $\sqrt{a^2 + b^2}$ 値を算出した。彩度は値が大きいほど鮮やかな色調を示す。測定は5反復行った。

浸漬後の重量増加比は、浸漬前後の子実重量を測定し、原重量に対する増加割合で表示した。溶出固形物量は前

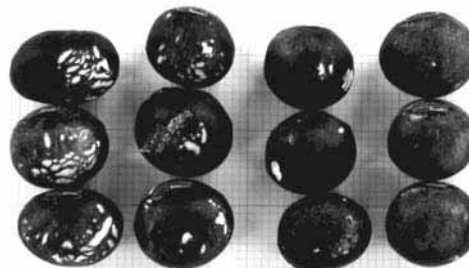


図1 2007年産丹波黒子実の裂皮粒
裂皮タイプ別に左列から 裂皮程度大 裂皮程度中 裂皮程度小 茶斑

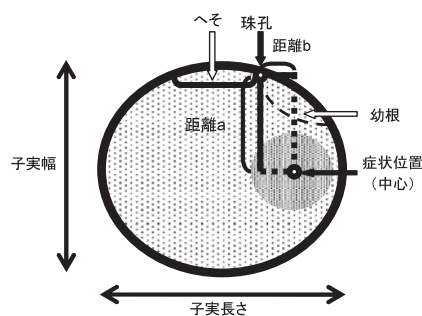


図2 裂皮(茶斑)症状位置の調査方法
距離a: 珠孔から症状位置(中心)までへそに対して垂直な方向の距離
距離b: 珠孔から症状位置(中心)までへそに対して平行な方向の距離

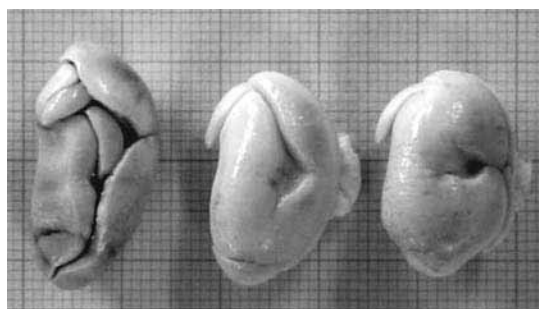


図3 2007年産丹波黒子実裂皮粒の子葉の奇形程度(浸漬後)
子葉奇形程度別に左から、奇形程度大、程度中、程度小

記の浸漬液を蒸発乾固後、105℃で恒量値を求め、原料子実乾物当たりの溶出率に換算した。重量増加比、溶出固形物量の測定は2反復行った。

種皮の厚さは前記の浸漬後に種皮をはぎとり、子実の側面部（裂皮症状部位）の種皮厚をマイクロメーター（ミットヨ製 MDC-25M 型、測定部直径6.35mm）を用いて調査した。調査は各10粒について2反復行った。種皮率は前記の浸漬後に種皮をはぎとり室内で風乾後にその重量を測定して、子実重量に占める種皮の割合として求めた。種皮率の測定は2反復行った。

子葉奇形率は、前記の浸漬後に種皮をはぎとり調査した。子葉の奇形程度の評価は、対となる子葉の大きさが大きく異なり形が非常にいびつな状態（奇形程度大）、対となる子葉の大きさは同等であるが形がいびつな状態（奇形程度中）、子葉の一部がくびれている状態（奇形程度小）の3タイプに分類し（図3）、奇形した子葉の割合を粒数比で表示した。調査は各10～15粒について2反復行った。

(3) 成分特性

2007年産子実の正常粒と裂皮粒（裂皮程度中）について、種皮を含めて粉碎後、以下の方法により各成分を定量した。測定は2反復行った。タンパク質はマクロケルダール法により全窒素を定量し、これに窒素-タンパク質換算係数5.71を乗じてタンパク質含量とした。灰分は600℃4時間乾燥法により定量した。

糖、遊離アミノ酸、総ポリフェノールは以下の方法により定量した。粉碎試料を80%エタノールで抽出し、残渣を2回抽出して得られた抽出液をサンプル液とした。糖（スクロース、ラフィノース、スタキオース）の分析はサンプル液をメンブレンフィルター（0.45μm）でろ過した後、分離カラム（島津製 Shim-Pack CLC-NH₂ 6×150mm）を用い、アセトニトリル：水（60：40）を移動相として、高速液体クロマトグラフ（島津製 LC-9A 型）で分離し、示差屈折計（島津製 RID-6A 型）で定量した。遊離アミノ酸はサンプル液をニンヒドリンと反応させた後、分光光度計（Beckman Coulter 製 DU720型）を用いて570nmの吸光値を測定し、グルタミン酸換算値として示した。総ポリフェノールはサンプル液を Folin-Ciocalteu 試薬で反応させた後、分光光度計を用いて

660nmの吸光値を測定し、カテキン換算値として示した。

(4) 煮豆加工適性

煮豆加工は家庭で行われる調理方法に準じた。丹波黒子実 60g に熱湯 2 リットル、調味料（砂糖50g、しょうゆ10g、塩1.5g）および食品添加物である硫酸第一鉄（0.01g）を加えて16時間浸漬させた。浸漬後に鍋に全材料を入れて中火～弱火で3時間加熱させ、煮汁中で1時間冷ましたあとのサンプルについて調査した。子実は正常粒（無添加区のみ）および裂皮粒（裂皮程度中）を用い、煮豆加工条件は無添加区、調味液区、硫酸第一鉄区、調味液+硫酸第一鉄区とした。煮豆の種皮色は分光式色差計を用いて測定した。測定は5反復行った。

結 果

各年産丹波黒子実中に占める正常粒および裂皮粒の割合（重量比）を表1に示す。2007年産の割合は、正常粒が24.1%、裂皮粒が61.6%、茶斑粒が5.7%、その他（割れ、虫食い等）が8.6%で、裂皮粒の占める割合が高かった。裂皮粒の中では外観的な被害程度が目立つ裂皮程度大および中の粒（それぞれ19.2%、34.1%）の割合が高かった。比較として調査した2006年産では、正常粒（80.3%）の割合が高く、裂皮粒の割合（11.4%、その内裂皮程度中7.5%、程度小3.9%）が低く、その他（割れ、虫食い等）の割合は2007年産とほぼ同等であった。

正常粒および裂皮粒の百粒重、子実の形状（大きさ、長さ／幅比）、裂皮症状位置について表2に示す。百粒重は、2007年産正常粒（75.3g）を100とした場合、程度大および中の裂皮粒（それぞれ83.1g、82.6g）は110、程度小の裂皮粒（80.0g）は106で、正常粒に比べて裂皮粒の百粒重は大きかった。子実の大きさについて、幅と厚さは正常粒と裂皮粒で差はみられないが、正常粒に比べて程度大の裂皮粒の子実の長さは大きかった。長さ／幅比は、正常粒（1.06）に比べて裂皮粒（1.10～1.21）の値が高く、正常な子実の形状が球状体に近いのに比べて程度大の裂皮粒の形状は長い楕円体であった。裂皮（茶斑）症状の位置は、点形裂皮の多かった裂皮粒（程度小）を除き、程度大および中の裂皮粒と茶斑粒では特定位置（珠孔から症状位置中心までの距離（a）5.1～5.3mmの範囲（b）0.4～1.3mmの範囲）に症状があらわれた。

表1 丹波黒子実中に占める正常粒および裂皮粒の割合（重量比%）

	正常粒 (%)	裂皮粒 (%)				茶斑粒 (%)	その他 (%)	
		全体	程度(大+中)	程度大	程度中			程度小
2007年産	24.1	61.6	53.3	19.2	34.1	8.3	5.7	8.6
比較) 2006年産	80.3	11.4	7.5	0	7.5	3.9	0	8.3

裂皮程度の分類は図1のとおり。その他は裂皮や茶斑を除いた規格外品（割れ、虫食い等）。

表2 正常粒および裂皮粒の百粒重, 子実の形状(大きさ, 長さ/幅比), 裂皮症状位置

	百粒重 g(比率%)	長さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	重量 (g)	長さ/幅 比	裂皮症状位置	
							a(mm)	b(mm)
2007年産(以下同じ)								
正常粒	75.3(100)ab	11.7 a	11.1 a	10.1 a	0.84 a	1.06 a	-	-
裂皮粒(程度大)	83.1(110) d	13.0 b	11.1 a	10.2 a	0.89 a	1.21 b	5.3 b	0.4 a
裂皮粒(程度中)	82.5(110) d	12.3ab	10.8 a	10.2 a	0.87 a	1.10ab	5.3 b	1.3 a
裂皮粒(程度小)	80.0(106)cd	12.5ab	11.1 a	10.3 a	0.90 a	1.12ab	3.7 a	2.0 a
茶斑粒	78.4(104)bc	12.3ab	11.2 a	10.0 a	0.87 a	1.11ab	5.1ab	0.5 a
2006年産								
正常粒	73.0(97) a	12.0ab	11.2 a	10.5 a	0.90 a	1.07 a	-	-

百粒重(比率): 2007年産正常粒の百粒重を100とした時の割合(%)

長さ/幅比: 子実の長さ÷子実の幅

裂皮(茶斑)症状位置: 症状中心位置調査方法は図2のとおり, 珠孔からα(へそに対して垂直な方向)β(へそに対して平行な方向)の距離. 同一列の異なるアルファベット間には Tukey 法の多重検定において5%水準で有意差あり.

表3 正常粒および裂皮粒の種皮率, 種皮の厚さ, 子葉奇形率(粒数比%)

	種皮率 (%)	種皮の厚さ (μm)	子葉奇形率(粒数比%)				
			全体	奇形程度 (大+中)	奇形程度大	奇形程度中	奇形程度小
2007年産(以下同じ)							
正常粒	6.0	178 a	41.7	16.7	0	16.7	25.0
裂皮粒(程度大)	6.0	221 b	83.3	50.0	16.7	33.3	33.3
裂皮粒(程度中)	6.2	202ab	80.0	40.0	16.7	23.3	40.0
裂皮粒(程度小)	6.4	223 b	31.7	16.7	5.0	11.7	15.0
茶斑粒	6.3	212ab	48.3	10.0	6.7	3.3	38.3
2006年産							
正常粒	6.0	181 a	13.3	0	0	0	13.3

種皮率(%): 種皮重量÷子実重量×100

子葉の奇形程度分類は図3のとおり.

同一列の異なるアルファベット間には Tukey 法の多重検定において5%水準で有意差あり.

表4 正常粒および裂皮粒の浸漬後の子実の形状(大きさ, 長さ/幅比), 重量増加比, 溶出固形物量

	長さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	重量 (g)	長さ/幅 比	重量増加比 (倍)	溶出固形物量 (g・100g ⁻¹)
正常粒	21.7 a	13.1 a	12.1ab	1.93 a	1.67 a	2.25	0.40
裂皮粒(程度大)	22.6 a	13.2 a	12.3ab	2.10ab	1.72 a	2.30	1.23
裂皮粒(程度中)	22.1 a	13.6 a	12.2ab	2.04ab	1.63 a	2.30	0.64
裂皮粒(程度小)	23.0 a	13.3 a	12.4ab	2.17 b	1.73 a	2.34	0.66
茶斑粒	22.5 a	13.2 a	12.0 a	2.01ab	1.71 a	2.25	0.58
2006年産							
正常粒	22.4 a	13.1 a	12.6 b	2.07ab	1.71 a	2.23	1.09

浸漬条件: 子実重量に対して5倍量の水を添加して25~16時間浸漬.

同一列の異なるアルファベット間には Tukey 法の多重検定において5%水準で有意差あり.

表5 正常粒および裂皮粒の浸漬後の種皮色

	浸漬後の種皮色			
	L値	a値	b値	彩度
2007年産(以下同じ)				
正常粒	21.5 a	1.3ab	1.2 a	1.9 a
裂皮粒(程度大)	32.0 c	3.0 c	10.8 c	11.3 c
裂皮粒(程度中)	27.2 b	3.3 c	9.7bc	10.4bc
裂皮粒(程度小)	27.7bc	2.4bc	8.0 b	8.4 b
茶斑粒	30.2bc	3.0bc	10.2 c	10.7 c
2006年産				
正常粒	19.7 a	0.2 a	0.0 a	0.4 a

裂皮(茶斑)症状がみられた位置の種皮色を調査.

色調: L値(明度), a値(+赤~-緑), b値(+黄~-青), 彩度($\sqrt{a^2 + b^2}$: 値が高いほど鮮やかな色調)

同一列の異なるアルファベット間には Tukey 法の多重検定において5%水準で有意差あり

正常粒および裂皮粒の種皮率, 種皮の厚さ, 子葉奇形率(粒数比)を表3に示す. 種皮率は6.0~6.4%の範囲にあり, 正常粒と裂皮粒で差はみられなかった. 子実の側面部(裂皮症状部位)における種皮の厚さ(測定部直径6.35mm)は正常粒に比べて裂皮粒がやや厚い傾向がみられた. 2007年産裂皮粒において子葉奇形率が非常に高く, 程度大の裂皮粒の子葉奇形率が83.3%(奇形程度大・程度中の合計割合50.0%), 程度中の裂皮粒の子葉奇形率が80.0%(奇形程度大・程度中の合計割合40.0%)であった. 2007年産正常粒の子葉奇形率は41.7%で, 程度小の裂皮粒と茶斑粒の子葉奇形率は2007年産正常粒とほぼ同等であった. 比較として調査した2006年産正常粒

表6 正常粒および裂皮粒の成分特性

	水分 (%)	タンパク質 (%)	灰分 (%)	糖 (g・100g ⁻¹)			遊離アミノ酸 (mg・100g ⁻¹)	総ポリフェノール (mg・100g ⁻¹)
				スクロース	ラフィノース	スタキオース		
正常粒	10.8	37.5	5.4	8.25	0.77	3.90	362	207
裂皮粒	10.4	38.3	5.6	7.69	0.75	3.81	356	201

2007年北部農業技術センター産の丹波黒子実の正常粒および裂皮粒（程度中）について分析。
水分以外の成分は乾物重換算値

表7 正常粒および裂皮粒の煮豆加工時の色調，外観

加工条件	煮豆の種皮色				煮豆外観
	L 値	a 値	b 値	彩度	
正常粒 無添加	17.7ab	2.4 a	1.8 a	3.0 a	全体的に濃茶色
裂皮粒 無添加	21.3bc	4.7 b	4.1 b	6.3 b	裂皮周辺は色抜け（薄茶色）
裂皮粒 調味液	23.8 c	4.7 b	4.1 b	6.3 b	裂皮周辺は色抜け（薄茶色）
裂皮粒 硫酸第一鉄	15.9 a	2.2 a	2.3ab	3.2 a	裂皮周辺は黒色に着色。裂皮は確認できるが乾燥子実よりも目立たない
裂皮粒 調味液 + 硫酸第一鉄	19.0ab	1.3 a	0.7 a	1.5 a	裂皮周辺は黒色に着色。裂皮は確認できるが乾燥子実よりも目立たない

2007年北部農業技術センター産の丹波黒子実の正常粒および裂皮粒（程度中）について調査。

煮豆加工：子実に熱湯，調味料（砂糖，しょうゆ，塩），硫酸第一鉄を加えて16時間浸漬。鍋に全材料を入れて中火～弱火で3時間加熱し，煮汁中で1時間冷ましたあとのサンプルについて調査。

色調：L 値（明度），a 値（+赤～-緑），b 値（+黄～-青），彩度（ $\sqrt{a^2 + b^2}$ ：値が高いほど鮮やかな色調）

同一列の異なるアルファベット間には Tukey 法の多重検定において 5%水準で有意差あり

の子葉奇形率は13.3%と低く，その内子葉の一部がくびれた程度の奇形（程度小）のみであった。

正常粒および裂皮粒の浸漬後の子実の形状，重量増加比，溶出固形物量を表4に示す。浸漬後の子実の形状は浸漬前の子実形状と異なり正常粒と裂皮粒で子実の長さや長さ/幅比に差はみられなかった。浸漬重量増加比は正常粒と茶斑粒（2.25倍）に比べて裂皮粒（2.30～2.34倍）の値がやや高かった。程度大の裂皮粒では2007年産正常粒に比べて溶出固形物量が高かった。程度中および小の裂皮粒と茶斑粒では2007年産正常粒と比べて溶出固形物量がやや高い傾向がみられた。2006年産正常粒については乾燥した保存状態（調査時子実水分9.7%）であったため，急激な吸水により種皮が割れ，そのため溶出固形物量が2007年産正常粒に比べて高くなった。

正常粒および裂皮粒の浸漬後の種皮色（裂皮（茶斑）症状部位）を表5に示す。裂皮粒と茶斑粒の種皮の色調は正常粒に比べてL 値，a 値，b 値，彩度が高く，裂皮（茶斑）症状部位の種皮色は薄茶色であった。

正常粒および裂皮粒の成分特性を表6に示す。正常粒と比較した裂皮粒の成分は，タンパク質含量がやや高く，糖含量はやや低い傾向がみられるが，灰分，遊離アミノ酸，総ポリフェノール含量は同等で，食味に影響するほどの差はみられなかった。

正常粒および裂皮粒（程度中）の煮豆加工時の色調，外観について表7に示す。無添加で煮た区の種皮色は正常粒では黒色であるが，裂皮粒では裂皮症状部位が薄茶色であった。裂皮粒を調味料（砂糖，しょうゆ，塩）を

添加して煮た区の種皮色は裂皮症状部位が薄茶色で裂皮粒・無添加区とほぼ同等であった。硫酸第一鉄を添加して煮た区では裂皮症状部位の種皮色は黒色で正常粒（無添加区）とほぼ同等であった。程度中の裂皮粒で加工した煮豆は裂皮した箇所は確認できるが，煮豆加工前（乾燥子実）ほど外観的な裂皮症状は目立たなかった。

考 察

ダイズ子実の裂皮はへそ付近から放射状に種皮が裂けたり，種皮一面が網目状に裂けた状態のことをさし⁹⁾，裂皮の形状により点形裂皮，線形裂皮，不定形裂皮に分類される¹⁴⁾。2007年産丹波黒子実でみられた裂皮の種類は，そのほとんどが種皮の側面に網目状に小さな亀裂が多く生じた不定形裂皮であった。裂皮症状はみられないが種皮の側面が薄茶色に色抜けした粒（茶斑粒）も多くみられた。裂皮および茶斑の症状は子実側面の特定位置（表2）にあらわれることが多く，裂皮と茶斑の症状が同じ位置と一緒にあらわれる粒が多かった。

栽培期間中における裂皮の発生要因については子実の大粒化¹¹⁾，子葉と種皮の大きさ（生育）のアンバランス¹⁰⁾，種皮の形態や物理的強度^{5),14)}などがあげられている。2007年産丹波黒子実において裂皮粒は正常粒に比べて百粒重が大きく，裂皮程度の大きい粒ほど大粒であり，これまでの報告¹¹⁾と一致した。一方で，種皮率は正常粒と裂皮粒で差はみられず，種皮の厚さ（子実側面の裂皮症状部位）は裂皮粒で厚い傾向がみられたことから，今回調査した丹波黒子実において種皮率，種皮の厚さと裂皮

発生との関係は明らかとならなかった。

2007年産丹波黒子実の裂皮粒において対となる子葉の大きさが大きく異なり形が非常にいびつな粒(奇形程度大)や対となる子葉の大きさは同等であるが形がいびつな粒(奇形程度中)の割合が80%を超え、裂皮程度の大きい粒ほど子葉の奇形率や奇形程度が大きいことが今回行った調査により明らかになった。また2007年産正常粒の子葉奇形率は2006年産正常粒に比べて高く、子葉の奇形した粒は乾燥子実の状態では裂皮や茶斑症状がみられない場合でも浸漬・煮熟後に種皮の茶斑症状があらわれる粒が多かった。このことは2007年産丹波黒子実において乾燥子実の状態では種皮の裂皮や茶斑症状が肉眼で確認できない場合でも子葉の奇形による潜在的な種皮の異常が生じていたと想定される。

正常な子実の形状は高水分のエダマメ時期では長い楕円体であるが、乾燥収縮が進むにつれて子葉の長さ方向への収縮率が大きくなり球状体に近い形状に変化する¹³⁾。しかし2007年産丹波黒子実において裂皮程度の大きい粒の形状は長い楕円体であった。このことは裂皮粒(程度大)が乾燥収縮する過程において子葉の長さ方向への収縮がスムーズに行われなかったことを示し、その要因として子葉の奇形が考えられる。一方、程度中の裂皮粒は子実の形状が球状体に近いものが多かったが、子葉表面において奇形による凹凸が多く観察された。

裂皮は子実の縦の長さ最大になり乾燥収縮が始まる時期に発生し、成熟期に向かって乾燥収縮が進むにつれ亀裂が大きくなり裂皮粒の割合が高くなる¹⁾。子実乾燥収縮する過程で粒表面(種皮)近くから水分が低くなり収縮しようとするが、粒中心部の乾燥は遅れることから収縮できず、種皮に引張応力が発生する。この種皮に対する引張応力が破壊限界を超えた場合に裂皮が発生するとされている^{1),4)}。2007年産丹波黒子実において最初に裂皮が認められたのは10月下旬で、この時期は子実の生長がほぼ最大になり乾燥収縮が始まる時期にあたる²⁾。裂皮粒では大粒かつ長い楕円体であったり、子葉表面が凹凸であったため、種皮にかかる引張応力が正常粒よりも大きくかかり裂皮が発生したと考えられる。以上のように2007年産丹波黒子実の裂皮発生は子実の大粒化並びに子実形状の変形(子葉奇形)の発生に関連すると考えられることから、子葉奇形が発生する環境要因について今後検討する必要がある。

丹波黒は様々な加工用途に利用されているが、中でも煮豆としての利用価値が最も高い³⁾。2007年産丹波黒子実の内、裂皮程度の大きい粒は子実形状がいびつであったり裂皮周辺の種皮色が色抜け(茶斑)するなど外観品

質が低いだけでなく、浸漬時の溶出固形物量が高く煮豆としての加工適性が低い。しかし成分特性は正常粒と裂皮粒でほぼ同等なことから、裂皮程度の大きい粒はきなこや味噌など粒形にこだわらない加工用途が考えられる。一方で1~2か所程度小さな点形の裂皮がみられる裂皮程度の小さい粒や茶斑粒は、浸漬・煮熟後に裂皮(茶斑)周辺の種皮色が色抜けして外観品質が低下する以外は成分特性やその他の煮豆加工適性は正常粒と同等であった。黒ダイズ種の煮豆をつくる時に鉄くぎなどを入れると黒色が鮮やかになるといわれるが、これは黒ダイズ種皮に含まれるアントシアニンが鉄イオンと錯体をつくり、安定な黒紫色となる性質を利用している^{7),8)}。今回の調査において煮豆加工条件として食品添加物である硫酸第一鉄を添加(0.02%程度)することで裂皮粒の種皮は黒色で色抜けを防止できた。このことから裂皮程度の小さい粒や茶斑粒は、煮豆加工の際に硫酸第一鉄の添加や家庭用では鉄くぎや鉄鍋を使用することで煮豆として利用できることが明らかとなった。

今回の調査結果から丹波黒子実における裂皮発生と子葉奇形との関係が示唆された。今後、子葉奇形の発生時期およびその機構を明らかにすることで裂皮発生の低減に向けた栽培法の改善が期待できる。また丹波黒の産地や加工業者に対しては裂皮粒の煮豆加工条件についての情報提供を行っていく。

引用文献

- (1) 林高見・鈴木健策・原正紀(1993): ダイズ種子の生長と裂皮発生: 日本作物学会紀事 62(別1), 216-217
- (2) 廣田智子・田畑広之進・福嶋昭・井上喜正(2003): 丹波黒大豆エダマメの収穫時期が品質に及ぼす影響: 兵庫農技総セ研報(農業) 51, 19-24
- (3) 廣田智子・田畑広之進・小戸拓也・岩井正志・井上喜正(2005): 兵庫県産大豆の品質特性: 兵庫農技総セ研報(農業) 53, 6-12
- (4) 桃野寛(2002): 農林水産研究文献解題27大豆(農林統計協会) 536-541
- (5) 中野寛(2003): 大豆における裂皮発生と種皮厚などとの関係: 日本作物学会紀事 72(別1), 286-287
- (6) 岡部昭典(2002): 農林水産研究文献解題27大豆(農林統計協会) 546-548
- (7) 須田郁夫(2001): 農業技術大系作物編6(農山漁村文化協会) 黒大豆編11-14
- (8) 杉田浩一(1971): 「こつ」の科学(柴田書店) 23, 201

- (9) 高橋信夫 (1988): 高品質ダイズ品種の育種: 農及園 63 (8), 903-910
- (10) 田中滋郎・古明地通孝・財津昌幸 (1983): ダイズ種皮の発育および細胞壁成分と裂皮発生との関係: 日本作物学会紀事 52 (別1), 69-70
- (11) 鳥生久嘉・伊藤悌右・森康明・江戸義治 (1976): 大豆種皮の亀裂に関する研究1: 日本作物学会紀事 45 (別2), 43-44
- (12) 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: 日本作物学会紀事 75 (1), 23-27
- (13) 上中登紀子・福田満・豊沢功 (2000): 大豆の吸水時における子葉細胞の形状変化: 日食科工誌 47 (8), 626-631
- (14) 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): 日本作物学会紀事 53 (1), 87-93
-