

九州南部におけるダイズの晩播が子実中のイソフラボン含有量に及ぼす影響

赤木功^{1,2)}・西原基樹¹⁾・上田重英¹⁾・横山明敏¹⁾・佐伯雄一³⁾

(¹⁾ 宮崎県総合農業試験場, (²⁾ 宮崎県産業支援財団, (³⁾ 宮崎大学農学部)

要旨:九州南部の秋ダイズ栽培における晩播栽培がダイズ子実中のイソフラボン含有量に及ぼす影響について調査し、西南暖地に位置する当地域においてもイソフラボン含有量の向上に晩播栽培が有効であるか検証した。8月上・下旬播種の晩播栽培は、7月中旬播種の標播よりも登熟期後半(成熟期前30日間)にあたる平均気温が0.4~1.7°C低く経過し、成熟期は3~9日遅延した。イソフラボン含有量は晩播によって高まり、標播に対する増加率はアキセンゴクが16.1~34.9%、クロダマルが5.9~15.3%、ヒュウガが31.1~37.9%、フクユタカが44.4~58.0%であり、品種によって晩播に対する反応に差異が認められた。子実中のタンパク質、カリウム、マグネシウム含有量は晩播による影響は認められないものの、カルシウム含有量は晩播によって低下する傾向にあった。また、個体当たりの子実重は晩播によって最大で78%低下した。以上のことから、晩播栽培は収量低下を軽減できれば、西南暖地における高イソフラボン含有ダイズ生産のための栽培技術の一つとして有効であると考えられた。

キーワード: イソフラボン含有量, 九州南部, ダイズ, 晩播栽培。

ダイズ子実に含まれるイソフラボンは、骨粗鬆症等の更年期障害の改善効果 (Messina 1995)、がん細胞増殖抑制作用 (Akiyama ら 1987, Coward ら 1993)、血中コレステロール低下作用 (岸田ら 2005)、抗酸化作用 (Naim ら 1976) 等の種々の健康機能性を有することが明らかにされつつあり、ダイズの新たな付加価値の一つとして注目されつつある。最近では、イソフラボンの一つであるゲニステインが南九州の風土病ともいえる成人T細胞白血病(ATL)細胞増殖抑制効果を有することがみいだされ (山崎ら 2005)、当地域の医学、食品分野からダイズに含有するイソフラボンに対して大きな関心が寄せられている。

このようなダイズイソフラボンに対する関心の高まりを受け、著者らは九州南部における高イソフラボン含有ダイズ生産のための栽培技術の開発に取り組んでいる。ダイズのイソフラボン含有量を高めるための栽培技術の一つとして晩播栽培が有効であることが知られている。遠藤ら (2004) は、スズユタカおよびふくいぶき (東北 126 号) について播種期を変えて栽培試験を行い、晩播によって子実中のイソフラボン含有量が1.1~1.4倍に高まったことを報告している。また、境ら (2006) も同様に、晩播によってスズカリのイソフラボン含有量が1.2~1.3倍に高まることを明らかにしている。しかしながら、これらの成果は、いずれも慣行で5月下旬から6月上旬に播種が行われている福島県や秋田県などの東北地方で試験されたものであり、梅雨明けの7月以降に播種される九州南部の秋ダイズ栽培において試験された事例はない。

そこで本研究では、九州南部におけるダイズの晩播栽培がダイズ子実中のイソフラボン含有量に及ぼす影響について調査し、西南暖地に位置する当地域においても晩播栽培が

イソフラボン含有量の向上に有効であるか検証した。

材料と方法

試験は2005年に宮崎県総合農業試験場(宮崎市)の試験圃場(細粒質灰色低地造成(黒ボク土客土)相)において実施した。供試品種として、フクユタカ、アキセンゴク、クロダマル、ヒュウガの4品種を用いた。播種期は、7月19日(標播区)、8月2日(中晩播区)および8月16日(晩播区)とした。試験規模は1区5.4m²の単区制、栽植様式は畝幅60cm、株間15cm、1株2本立て(栽植密度22.2個体m⁻²)とした。栽培管理は当県における慣行の栽培基準に準じた。施肥は高度化成肥料(N-P₂O₅-K₂O:6-17-17%)を33.3g m⁻²(成分量でそれぞれ2.0g m⁻², 5.7g m⁻², 5.7g m⁻²)施用した。また、土壌改良資材として、堆肥を800g m⁻²、苦土石灰を60g m⁻²施用した。

収穫は成熟期に各試験区から連続する平均的な5株を1組として5ヶ所から刈り取った。子実を脱穀・調製・秤量後、遠心粉碎器で粉碎し、イソフラボン、タンパク質および無機成分含有量の分析のための試料とした。イソフラボン含有量は、粉碎試料に10倍量の70%エタノールを加え、25°C、18時間静置したものを遠心分離し、回収された上清を高速液体クロマトグラフ法によって測定した。タンパク質含有量は、ケルダール分解-セミ・マイクロ蒸留法により定量した窒素含有量から窒素-タンパク換算係数5.71を乗じて算出した。無機成分含有量は、硝酸-過塩素酸分解後、原子吸光・蛍光光度法によってカリウム、カルシウムおよびマグネシウムをそれぞれ測定した。なお、含有量は乾物試料当たりで示した。

本報で用いた気温データは当試験場内に設置された気象

第1表 各試験区におけるダイズの成熟日, 生育期間および登熟期後半の平均気温

品種	試験区	播種日	成熟期	生育 日数	平均気温 (°C) ¹⁾	
					生育期間 ²⁾	登熟後期 ³⁾
アキセンゴク	標播	7月19日	11月22日	126	22.9	15.4
	中晩播	8月2日	11月25日	115	22.0	15.0
	晩播	8月16日	11月25日	101	21.2	15.0
クロダマル	標播	7月19日	11月22日	126	22.9	15.4
	中晩播	8月2日	11月30日	120	21.6	14.2
	晩播	8月16日	11月30日	106	20.8	14.2
ヒュウガ	標播	7月19日	11月16日	120	23.5	16.7
	中晩播	8月2日	11月25日	115	22.0	15.0
	晩播	8月16日	11月25日	101	21.2	15.0
フクユタカ	標播	7月19日	11月16日	120	23.5	16.7
	中晩播	8月2日	11月25日	115	22.0	15.0
	晩播	8月16日	11月25日	101	21.2	15.0

1) 日平均気温の平均値. 2) 播種期から成熟期までの全期間. 3) 成熟期前30日間.

第2表 晩播がダイズ子実中のイソフラボン含有量に及ぼす影響.

品種	試験区	イソフラボン含有量 ($\mu\text{g g}^{-1}$)									Total
		Dein	Glein	Gein	Din	Glin	Gin	Mal-din	Mal-glin	Mal-gin	
アキセンゴク	標播	15 (0.3)	tr. (0.0)	16 (0.3)	143 (2.9)	27 (0.6)	256 (5.2)	1791 (36.7)	137 (2.8)	2495 (51.1)	4880 a
	中晩播	17 (0.3)	tr. (0.0)	20 (0.4)	169 (3.0)	26 (0.5)	331 (5.8)	2112 (37.3)	142 (2.5)	2850 (50.3)	5667 ab
	晩播	20 (0.3)	tr. (0.0)	23 (0.3)	209 (3.2)	40 (0.6)	375 (5.7)	2563 (38.9)	231 (3.5)	3122 (47.4)	6583 b
クロダマル	標播	tr. (0.0)	tr. (0.0)	13 (0.4)	86 (2.9)	24 (0.8)	161 (5.4)	995 (33.2)	186 (6.2)	1535 (51.2)	3000 a
	中晩播	tr. (0.0)	tr. (0.0)	tr. (0.0)	88 (2.8)	18 (0.6)	143 (4.5)	1214 (38.2)	147 (4.6)	1567 (49.3)	3177 a
	晩播	11 (0.3)	tr. (0.0)	12 (0.3)	96 (2.8)	23 (0.7)	175 (5.1)	1249 (36.1)	180 (5.2)	1712 (49.5)	3458 a
ヒュウガ	標播	16 (0.5)	tr. (0.0)	20 (0.6)	99 (3.1)	16 (0.5)	178 (5.6)	1130 (35.6)	137 (4.3)	1575 (49.7)	3171 a
	中晩播	16 (0.4)	tr. (0.0)	17 (0.4)	156 (3.6)	26 (0.6)	241 (5.5)	1698 (38.8)	177 (4.0)	2042 (46.7)	4373 b
	晩播	19 (0.5)	tr. (0.0)	15 (0.4)	148 (3.6)	33 (0.8)	212 (5.1)	1730 (41.6)	211 (5.1)	1789 (43.0)	4157 b
フクユタカ	標播	tr. (0.0)	tr. (0.0)	12 (0.6)	45 (2.1)	11 (0.5)	130 (6.0)	569 (26.2)	51 (2.3)	1354 (62.3)	2172 a
	中晩播	tr. (0.0)	tr. (0.0)	12 (0.3)	71 (2.1)	19 (0.6)	191 (5.6)	1002 (29.2)	104 (3.0)	2032 (59.2)	3431 b
	晩播	tr. (0.0)	tr. (0.0)	tr. (0.0)	53 (1.7)	18 (0.6)	181 (5.8)	801 (25.5)	97 (3.1)	1986 (63.3)	3136 b

Dein: ダイゼイン, Glein: グリシテイン, Gein: ゲニステイン, Din: ダイズイン, Glin: グリシチン, Gin: ゲニスチン, Mal-din: マロニルダイズイン, Mal-glin: マロニルグリシチン, Mal-gin: マロニルゲニスチン.

tr.: $10 \mu\text{g g}^{-1}$ 未満.

括弧内の数値は総イソフラボン含量に占める比率 (%).

各品種の同一英文字間には5%水準で有意差なし (Tukeyの多重検定, $n=5$).

第3表 晩播がダイズ子実中のタンパク質および無機成分含有量に及ぼす影響.

品種	試験区	含有量 ($\mu\text{g g}^{-1}$)			
		タンパク質	K	Mg	Ca
クロダマル	標播	336 a	22.2 a	2.18 a	2.37 a
	中晩播	343 a	22.1 a	2.05 a	1.39 b
	晩播	329 a	20.8 a	2.04 a	1.57 b
フクユタカ	標播	363 a	20.0 a	2.28 a	2.32 a
	中晩播	353 a	20.1 a	2.25 a	1.93 b
	晩播	343 a	19.9 a	2.21 a	1.80 b

各品種の同一英文字間には5%水準で有意差なし (Tukeyの多重検定, $n=5$).

観測露場で測定された値を用いた.

結果と考察

各試験区のダイズの成熟期および生育期間, 登熟期後半 (成熟期前30日間) の平均気温を第1表に示した. いずれの品種も播種期を遅らせることによって成熟期は遅延するものの生育日数は短縮された. また, 中晩播区と晩播区はいずれの品種も成熟期が重なった. 標播に対する成熟期の遅延日数は, アキセンゴクが3日, クロダマルが8日, ヒュウガおよびフクユタカが9日であった. 中晩播区および晩播区は成熟期が遅延することで, 登熟期後半における平均気温は標播区よりも低くなり, 標播区が15.4~16.7°Cであったのに対し, 中晩播区および晩播区は14.2~15.0°Cであった.

各処理区における子実中イソフラボン含有量を第2表に示した. 総イソフラボン含有量は品種間で差異が認められるが, いずれの品種も播種期を遅らせた試験区の方が標播区よりも高い値を示した. 標播区に対する中晩播区および晩播区の総イソフラボン含有量の増加率は, アキセンゴクが16.1%および34.9%, クロダマルが5.9%および15.3%, ヒュウガが37.9%, 31.1%, フクユタカが58.0%, 44.4%であり, 品種によって晩播に対する反応に差異が認められた.

子実中の総イソフラボン含量は, 登熟期間の温度に左右されることが知られており (Tsukamotoら1995), 成熟期の遅延による登熟期後半の気温低下が晩播による総イソフラボン含量の増加と密接に関連していることが明らかにされている (遠藤ら2004, 境ら2006). 上述のとおり, 本試験においても, 晩播によって登熟期後期の平均気温は低下しており, これが総イソフラボン含有量の増加に影響しているものとみられる. ただし, その平均気温の低下の程度は, 境ら (2006) による東北地方の事例 (0.8~3.1°C) よりも若干小さい0.4~1.7°Cであった.

イソフラボン成分の組成は, いずれの品種もマロニルゲニスチン, マロニルダイズイン, マロニルグリシチンからなるマロニル型配糖体のものが主体をなし, 総イソフラボ

第4表 晩播が子実収量およびイソフラボン収量に及ぼす影響.

品種	試験区	子実	イソフラボン
		収量 (g/ 個体)	収量 (mg/ 個体)
アキセンゴク	標播	4.70	22.9
	中晩播	3.11	17.6
	晩播	2.62	17.2
クロダマル	標播	7.66	23.0
	中晩播	3.56	11.3
	晩播	3.58	12.4
ヒュウガ	標播	8.98	28.5
	中晩播	4.41	19.3
	晩播	1.96	8.1
フクユタカ	標播	9.75	21.2
	中晩播	6.74	23.1
	晩播	4.31	13.5

ンの90~92%を占めた. ゲニスチン, ダイズイン, グリシチンからなるグリコシル型配糖体は総イソフラボンの8~10%, ゲニステイン, ダイゼイン, グリシテインからなるアグリコンは総イソフラボンの2%未満であった. 遠藤ら (2004) は, 晩播によってマロニル型配糖体の比率が減少し, グリコシル型配糖体の比率が増加する傾向にあることを報告しているが, 本試験では播種期の違いによるイソフラボン組成の変化は認められなかった.

晩播がイソフラボン以外の子実成分に及ぼす影響をみるために, フクユタカおよびクロダマルについて子実中のタンパク質含有量および無機成分含有量を測定した (第3表). タンパク質含有量は, 晩播による影響が小さいことが報告されているが (平ら2004, 境ら2006), 本試験においても標播, 中晩播および晩播区との間で含有量に顕著な差は認められなかった. 一方, 子実中の無機成分, 特にカルシウムの含有量は栽培期間の気温の影響を大きく受けることが知られており (平ら1977), 晩播による平均気温の低下がこれら成分の含有量に影響を及ぼす可能性は大きい. 本試験において, カリウムおよびマグネシウムは標播, 中晩播および晩播区との間で含有量に明瞭な差異は認められなかったが, カルシウムは両品種ともに中晩播および晩播区が標播区よりも低い値を示し, その低下率はフクユタカが17~22%, クロダマル34~41%であった. カルシウムの含有量は豆腐の硬さに影響を及ぼすことが知られており (高橋ら2005), 豆腐加工を用途とする場合には, 注意が必要であるものと考えられる.

以上のように, 西南暖地に位置する九州南部においても8月上・中旬播種の晩播栽培により子実中の総イソフラボン含量が高まることが明らかとなった. このように晩播によって総イソフラボン含有量が増加することは, 慣行で5月下旬から6月上旬に播種が行われている東北地方において認められているが (遠藤ら2004, 境ら2006), 梅雨明け

以降の7月上・中旬に播種が行われている九州南部において調査された事例はない。当地域で広く栽培されている基幹品種フクユタカは、暖地向けダイズ品種の中でも総イソフラボン含有量が低い品種であるが(赤木ら 2007)、本試験の成果を基にすれば、晩播栽培によってその含有量を $3000 \mu\text{g g}^{-1}$ にまで向上させることができるものと推察される。さらに、高イソフラボン含有品種であるアキセンゴクを用いて晩播栽培を行えば、慣行栽培(フクユタカの標播栽培)の2.6~3.0倍に相当する、 $5000 \mu\text{g g}^{-1}$ を超えるイソフラボン含有するダイズを生産することが可能であるものと推察される。

しかしながら、ダイズの晩播は子実収量の大きな低下を招く。第4表は各試験区における個体当たりの子実重およびイソフラボン収量を示したものである。個体当たりの子実重は品種間で差異が認められるものの、いずれの品種も晩播によって著しく低下し、その低下率(対標播)は、アキセンゴクが34~45%、クロダマルが53~54%、ヒュウガが51~78%、フクユタカが31~56%であった。イソフラボン収量に換算しても、いずれも標播区よりも中晩播および晩播区の方が低い値を示した。したがって、晩播栽培は西南暖地における高イソフラボン含有ダイズ生産のための栽培技術の一つとして有効であると考えられるが、その実用化のためには密植栽培等の子実収量の低下を軽減させるための栽培管理についてさらに検討しなければならない。

謝辞：本研究を進めるにあたり、九州沖縄農業研究センターの小松邦彦研究員からダイズ種子を分譲していただくとともに、貴重なご助言をいただいた。また、宮崎県総合農業試験場の職員、研究補助員のみなさまには多大な協力をいただいた。以上の各位に心から謝意を表す。

引用文献

赤木功・西原基樹・上田重英・横山明敏・浅野陽樹・佐伯雄一 2007. 宮崎県で栽培された暖地向けダイズ品種のイソフラボン含有量. 日作紀 76: 454-458.

- Akiyama, T., J. Ishida, S. Nakagawa, H. Ogawara, S. Watanabe, N. Itoh, M. Shibuya and Y. Fukami 1987. Genistein, a specific inhibitor of tyrosine-specific protein kinases. *J. Biol. Chem.* 262: 5592-5595.
- Coward, L., N.C. Barnes, K.D.R. Setchell and S. Barnes 1993. Genistein, daidzein, and their beta-glycoside conjugates. *J. Agric. Food chem.* 41: 1961-1967.
- 遠藤浩志・大野正博・丹治克男・境哲文・金子憲太郎 2004. ダイズ品種の収量性およびイソフラボン含量に及ぼす播種期および登熟環境条件の影響. 日作紀 73: 293-299.
- 岸田太郎・長本学・水重貴文・大津洋平・海老原清・小川博・和泉亨・小幡明雄 2005. 大豆イソフラボンによる雌ラットの血清コレステロール濃度低下作用. 日本農芸化学会大会講演要旨集 2005: 118.
- Messina, M. 1995. Modern applications for an ancient bean: soybeans and the prevention and treatment of chronic disease. *J. Nutr.* 125: 567S-569S.
- Naim, M., B. Gestetner, A. Bondi and Y. Birk 1976. Antioxidative and antihemolytic activities of soybean isoflavones. *J. Agric. Food Chem.* 24: 1174-1177.
- 境哲文・二瓶直登・高田吉丈・河野雄飛・高橋浩司・島田信二 2006. ダイズ子実中のイソフラボン含量に及ぼす品種と栽培条件の影響. 日作紀 75: 296-305.
- 平春枝・平宏和・斉藤正隆 1977. 大豆の粒度・品質および栽培年度が化学成分組成に及ぼす影響. 第5報 カリウム・リン・マグネシウムおよびカルシウム含量. 日作紀 46: 483-491.
- 平春枝・中村茂樹・磯谷尚子・河津恵 2004. 大豆の食物繊維, タンパク質および脂質含量への転換畑および晩期播種栽培の影響. 日食工誌 51: 38-46.
- 高橋浩司・羽鹿牧太・平賀勲・戸田恭子 2005. ダイズ子実のカルシウム含有量は豆腐の硬さに関与する. 育種学研究 7(別1・2): 260.
- Tsukamoto, C., S. Shimada, K. Igita, S. Kudou, M. Kokubun, K. Okubo and K. Kitamura 1995. Factors affecting isoflavone content in soybean seeds: changes in isoflavones, saponins, and composition of fatty acids at different temperatures during seed development. *J. Agric. Food chem.* 43: 1184-1192.
- 山崎正夫・鈴木英之・西山和夫・榊原陽一・水光正仁・窄野昌信・福田亘博・森下和広・坪内博仁 2005. 大豆イソフラボンによる成人T細胞白血病細胞株の増殖抑制効果. 日本栄養・食糧学会総会講演要旨集 59: 122.

Effect of Late Sowing on the Isoflavone Content of Soybean Seed in Southern Kyushu : Isao AKAGI^{1,2)}, Motoki NISHIHARA¹⁾, Shigehide UEDA¹⁾, Akitoshi YOKOYAMA¹⁾ and Yuichi SAEKI³⁾ (¹⁾Miyazaki Agr. Res. Inst., Miyazaki 880-0212, Japan; ²⁾Miyazaki Pref. Ind. Supp. Found.; ³⁾Fac. of Agr., Miyazaki Univ.)

Abstract : We examined the effect of the late sowing on the isoflavone content of autumn maturing soybean seed in southern Kyushu. The mean air-temperatures during the late ripening stage of the late-sown soybean were 0.4–1.7°C lower than those of the soybean sown on the normal date due to the delay of maturing stage. The isoflavone content was increased by the late sowing. The rate of increase in isoflavone content by the late sowing was 16.1–34.9% in ‘Akisengoku’, 5.9–15.3% in ‘Kurodamaru’, 31.1–37.9% in ‘Hyuga’ and 44.4–58.0% in ‘Fukuyutaka’. The contents of potassium and magnesium were not significantly different between normal sown and late-sown soybean. However, the calcium content of late-sown soybean was lower than that of normal sown soybean. On the other hand, late sowing decreased the seed weight per plant by 78% at the maximum. These results suggest that the late sowing could be an effective cultivation technique for producing soybean with a high isoflavone content on condition that the decrease in seed yield is mitigated.

Key words : Isoflavone content, Late sowing, Southern Kyushu, Soybean.

書 評

「植物生理学概論」桜井英博・柴岡弘郎・芦原坦・高橋陽介著。培風館、東京。2008年12月発行、229頁、3,300円
本書は、1980年に初版が発行された「植物生理学入門」の四訂版に相当するものであり、改訂を重ね内容が豊富になり「入門」にしては内容が専門的だという意見を考慮して書名を「植物生理学概論」に改題したとのことである。これを機に、A5判からB5判へと頁の大きさは拡大され、複雑な代謝系の図等が見やすくなるように改良されている。初版の発行から四半世紀以上にもわたって版を重ねてきたことから、この本が広く多くの人に読まれそして改訂の度に新たな知見を付け加えることで充実した内容となっていることがうかがい知れる。ちなみに評者は学部生時代、この初版本が植物生理学の教科書として指定され、この本で植物生理学を学んだ。初版本と本書を比較すると、この間の植物生理学という分野のすさまじい進歩と飛躍が感じられる。

構成は、植物生理学を学ぶ上で基礎知識として必要となる生化学、分子生物学、植物細部と器官の構造と機能を概説した後、呼吸と光合成といったエネルギー代謝と生体内成分（窒素・硫黄・糖質・脂質・二次代謝産物）の代謝生理、物質（水・無機塩類・同化産物）の移動、植物ホルモン、形態形成や環境応答といった発育の調節などを中心に広く総合的に解説している。その中でも、エネルギー代謝と体内成分の代謝生理が特に詳しく解説され内容が豊富である。ここ十数年間の分子生物学の進歩とシロイヌナズナやイネのゲノム情報の解明等により、植物生理学研究は新たな展開を迎えている。評者の学生時代は、植物ホルモン研究は「泥沼」と言われていたが、近年、花成ホルモン（フロリゲン）が葉で合成されるタンパク質であることが明らかにされ、またサイトカイニンをはじめとして、エチレン、オーキシン、ジベレリンの受容体が同定され、さらにホルモン作用の分子機構も次第に明らかになってきた。これら最新の研究結果についても本書で触れられているが、巻末に各章の参考書は挙げられているものの原著論文についての情報がないことは残念である。基礎学問としての内容だけでなく、農業や環境問題に対する記述もあり、遺伝子組換え植物と環境問題、バイオマスエタノール、地球温暖化といったことに関して植物生理学的な立場から述べられている。

本書の巻末に参考書として選定されている幸田泰則・桃木芳枝 編著 三宅 博・大門弘幸共著「植物生理学 分子から個体へ」は、作物学会員の方によって書かれた本であり、理学系の方が書かれた本書と読み比べるとその視点の違い等が分かり興味深い。これら二冊をともに読むことをお勧めしたい。作物研究の上で必要となる植物生理学の理解がさらに深まることは間違いない。

(神戸大学 東哲司)