

品質・加工

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

境哲文¹⁾・二瓶直登²⁾・高田吉丈³⁾・河野雄飛³⁾・高橋浩司⁴⁾・島田信二⁵⁾

(¹⁾九州沖縄農業研究センター, ²⁾福島県農業試験場, ³⁾東北農業研究センター, ⁴⁾作物研究所, ⁵⁾中央農業総合研究センター)

要旨: ダイズ子実中のイソフラボン含量に及ぼす栽培条件, 品種, 栽培年次および栽植密度の影響について 1999, 2001, 2002 年の 3 ケ年にわたり解析した. 12 品種を供試した評価では, イソフラボン含量は普通畑標播<転換畑標播<普通畑晩播, 年次間変動は普通畑晩播<普通畑標播<転換畑標播の順に増加する傾向を示した. 3 ケ年の平均イソフラボン含量の品種間差および年次間変動係数は普通畑標播区でそれぞれ 3.0 倍, 6~27%, 普通畑晩播区で同 2.3 倍, 4~31%, 転換畑標播で同 2.2 倍, 10~44% でいずれも品種間差は顕著であった. 栽植密度がイソフラボン含量およびその成分組成に及ぼす影響は有意ではなく, 含量と子実収量との間にも相関関係は認められなかった. 2000 年には播種期が遅延するに従いスズカリのイソフラボン含量が増加することを確認した. また, 土壌の種類に関して, ふくいぶきでは灰色低地土より黒ボク土でイソフラボン含量が高い傾向を示したが, 窒素施肥の影響は明らかでなかった. 以上の結果は, 晩播と密植化およびより肥沃度の高い圃場での栽培を組み合わせることで, 低収化をカバーし, なおかつ付加価値の高い高イソフラボン含有ダイズの生産が可能であることを示している.

キーワード: イソフラボン含量, 栽植密度, 施肥, 組成, ダイズ, 土壌, 年次間変動, 播種期.

ダイズは世界における重要なタンパク質と脂質の供給源であり, その多くは油脂原料や家畜飼料用として消費される. 他方, ダイズ子実に含まれるイソフラボンなどが有する健康維持・増進機能が日本だけでなくアジア, 欧米などでも大きく注目されている.

イソフラボンの作用については骨粗鬆症等の改善効果 (Messina 1995, Arjmandi ら 1996), 発ガン・ガン細胞増殖抑制 (Akiyama ら 1987, Coward ら 1993), 抗酸化性 (Naim ら 1976) 等, 様々な薬理効果が報告されている. 国内でも (財) 日本健康栄養食品協会は年齢や性別などの違いを考慮し, 有用摂取目安量を 7~90 mg/日と設定している. しかし, 通常の食生活で生理機能が期待できる量のイソフラボンをダイズ以外の食物で摂取することは困難であり, その高含量化は付加価値の高いダイズ生産を可能にすると考えられる.

イソフラボン含量には品種間差があるが, 品種よりも栽培年次による変動の方が大きいことを Wang and Murphy (1994) は報告している. また, Hoeck ら (2000) や Lee ら (2003) は栽培年次, 品種, 栽培地によるイソフラボン含量の変動およびそれらの交互作用について報告しており, 境ら (2005) は 18 品種・系統を 6 年間供試し, 年次間変動係数が 13.1~60.7% という値を得ている. 脂肪や炭水化物の含量は登熟期の高温で増加し (斎藤・金森 1994), イソフラボン含量は低温で増加することが報告されている (Tsukamoto ら 1995) が, 含量の変動幅はイソフラボンの方が他の主要成分よりも顕著に大きい.

以上の報告から高イソフラボン含量をダイズ品種の特性として付加価値を高めていくには, 安定してイソフラボン

含量の高いダイズを生産できる品種の選定や栽培法の検討を生産地ごとに行う必要がある. 夏大豆の晩播 (Kitamura ら 1991) やカリ施肥 (Vyn ら 2002) によるイソフラボン含量増加は, 栽培法による高含量化の可能性を示す数少ない報告である.

2004 年の日本におけるダイズの作付け圃場の 8 割以上は水田転換畑であり, 圃場の高度利用の観点から行われるムギ類-ダイズ輪作体系におけるダイズの播種期 (森下ら 1987) や, 播種期の遅延に伴う低収化を補う栽植密度 (桐原・高島 1964, Boquet 1990) など様々な栽培条件の検討がなされている. したがってこれらの多様な栽培環境に伴うイソフラボン含量の変動について明確にしておくことが必要である.

本研究では主に東北地域の奨励品種を用いて, 栽培条件, 栽植密度, 播種時期および土壌・施肥条件がイソフラボン含量とその成分組成に及ぼす影響を評価し, イソフラボンの高含量化に向けた栽培技術開発の可能性について検討した.

材料と方法

1. 栽培条件がイソフラボン含量に及ぼす影響 (試験 I)

栽培試験は 1999, 2001, 2002 年の 3 ケ年にわたり, 東北地域の奨励品種を含む計 12 品種を供試し独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センターにて実施した. 第 1 表にその供試品種を示す. 試験圃場および播種条件は普通畑・標準期播種 (普通畑標播), 水田転換畑・標準期播種 (転換畑標播), 普通畑・晩期播種 (普通畑晩播) の 3 条件で, 試験圃場の所在地は普通畑 (洪積

第1表 供試した12品種の成熟期, 百粒重および主な用途.

品種名	成熟期 (月日)	百粒重 (g)	主な用途
鈴の音	9.24	10.1	納豆
リュウホウ	9.29	29.8	豆腐・煮豆
トモユタカ	10.05	25.6	豆腐
ナンブシロメ	10.06	24.5	豆腐
おおすず	10.08	34.1	豆腐・煮豆
コスズ	10.08	8.4	納豆
スズカリ	10.09	29.9	豆腐
タチユタカ	10.12	25.1	豆腐・納豆
エンレイ	10.14	30.1	豆腐・味噌
スズユタカ	10.16	24.6	豆腐
タチナガハ	10.19	33.2	豆腐・煮豆
ハタユタカ	10.19	31.0	豆腐
ふくいぶき(参考品種)	10.14	27.8	豆腐

成熟期と百粒重は普通畑標播における1999, 2001, 2002年の平均.

土壌)は秋田県大仙市刈和野, 水田転換畑(沖積土壌)は秋田県大仙市四ッ屋である. 水田転換畑は3年毎に水田・畑を切り替え, 1999, 2001, 2002年は畑地化されてそれぞれ2年, 初年, 2年目である. 播種日は1999年:普通畑標播(5月24日)・転換畑標播(6月1日)・普通畑晩播(7月2日), 2001年:普通畑標播(5月25日)・転換畑標播(5月30日)・普通畑晩播(7月2日), 2002年:普通畑標播(5月24日)・転換畑標播(5月30日)・普通畑晩播(7月1日)である. 栽植様式は1株2本立てで普通畑標播, 転換畑標播が畦幅75 cm, 株間16 cm, 一区面積10.5 m², 普通畑晩播は同75 cm, 12 cm, 7.9 m²で各栽培条件とも3反復とし, 当研究室の標準的耕種方法で栽培した. 収穫はそれぞれの品種が成熟期に達した時点で速やかに行い, 風乾後, イソフラボン含量を測定した. なお, 参考品種として, 近年育成されたイソフラボン含量の高いふくいぶきも普通畑標播, 転換畑標播試験に供試したが, データの解析対象からは除いた.

2. 栽植密度がイソフラボン含量に及ぼす影響(試験Ⅱ)

イソフラボン含量に及ぼす栽植密度の影響を草型毎に評価するため, 分枝型のスズカリと主茎型のタチユタカを1999, 2001, 2002年の3ヶ年にわたり供試した.

播種日は1999:5月24日, 2001:5月24日, 2002:5月23日である. 1株2本立てで, 一区面積は6.8 m², 栽植様式は畦幅75 cmで株間は8, 12, 16 cmの三水準を設定し, 栽植密度は密植区(16.7株/m²), 標準区(11.1株/m²), 疎植区(8.3株/m²)の各3反復とし, 上述の普通畑で栽培した. 調査方法は試験Ⅰと同じである.

3. 播種期の違いがイソフラボン含量に及ぼす影響(試験Ⅲ)

2000年にスズカリを供試し, 3播種期を設定して上述の普通畑で栽培した. 播種日はそれぞれ標準播種区(標播区,

第2表 試験Ⅳにおける土壌および施肥条件.

土壌条件	試験区	基肥窒素(kg/a)	追肥窒素(kg/a) [施用肥料名]	施肥法
黒ボク土	無窒素	-	-	
pH6.0	慣行	0.3 [大豆化成500]	0.6 [LP40]	全層
CEC:24.3	LP全層	0.9 [LP100]	-	
(me/100g)	LS接触	0.3 [LP40]+ 0.6 [LPS100]	-	接触
灰色低地土	無窒素	-	-	
pH5.7	慣行	0.3 [大豆化成500]	0.6 [LP40]	全層
CEC:12.7	LP全層	0.9 [LP100]	-	
(me/100g)	LS接触	0.3 [LP40]+ 0.6 [LPS100]	-	接触

大豆化成500:くみあい高度化成500, N, P, K=5, 20, 20%.

LP(リニア型), LPS(シグモイド型)はともに肥効調節型肥料.

LP40, 100:くみあい化成LPコート40(被覆尿素40日タイプ), 100(被覆尿素100日タイプ).

LPS100:くみあい化成LPSコート100(被覆尿素100日タイプ).

5月25日), 中晩期播種区(中晩播区, 6月16日), 晩期播種区(晩播区, 6月30日)である. 1株2本立てで, 標播区, 中晩播区は畦幅75 cm, 株間16 cm, 一区面積10.5 m², 晩播は同75 cm, 12 cm, 7.9 m²で各3反復とした. 成熟後, 列の前後3株を除いた約60株を収穫し, 風乾後, 各種調査に供した. 子実の粗蛋白含有率および粗脂肪含有率は粉碎試料を用いて近赤外分光分析装置(NIRECO, Cereal Grain Analyzer 102)で測定した.

4. 土壌条件および窒素施肥がイソフラボン含量に及ぼす影響(試験Ⅳ)

2001年にふくいぶきを供試し, 福島県農業試験場の精密圃場(福島県郡山市)でイソフラボン含量に及ぼす土壌および施肥窒素の影響を調査した. 土壌は黒ボク土と灰色低地土を用い, 施肥区には慣行区と無窒素区以外に, 生育経過とともに播種種子付近の硝酸態窒素濃度が異なるように肥効調節型肥料を組み合わせたLP全層区とLS接触区を設けた(第2表). P₂O₅およびK₂Oは各0.8 kg/a, LP全層, LS接触区はさらにリン酸, カリを全層施肥し, 慣行区に準ずるよう補正した. 播種は6月27日に行い, 1株2本立て, 畦間70 cm, 株間10 cm, 一区面積2.25 m²の2反復とした. 成熟後, 速やかに各区の中央部1.8 m², 26株を収穫し, 風乾後, 各種調査に供した. 播種種子の硝酸態窒素の測定は, 播種位置から10 cm下までの土壌を3~4葉期(播種後30日目), 莢肥大始期(同72日目), 莢肥大盛期~黄葉期(同107日目)に採取し, セミマイクロケルダール法で分解後, 水蒸気蒸留法で行った.

5. イソフラボン分析

ダイズ子実約10 gを振動ミル(平工製作所 TI200)で2分間, 均一になるよう粉碎し, その粉碎試料約20 mgを1.5 mlマイクロチューブに入れて0.1%酢酸含有70%エタノールを加え, 25℃, 48時間静置して総イソフラボンを抽出し

た. その抽出液を HPLC [WATERS LC-1 Module (1996～1998 年), HITACHI L-7000 series (1999～2002 年), column: YMC-Pack ODS-AM/AM-303 (AM12S05-2546WT)] 水-アセトニトリル (0.1% 酢酸含有) 濃度勾配 (20min.:20→50%) によって分離し, 測定波長 260 nm で検出されたイソフラボン画分 (ダイズイン, マロニルダイズイン, ゲニスチン, マロニルゲニスチン, ダイゼイン, ゲニステイン) を, 標品 (nacalai tesque) のピーク面積を元に算出し, さらに総イソフラボン含量はそれらを合計して求めた. グリシテインをアグリコンとする配糖体は胚軸部分にしか存在せず, 配糖体全体の約 5% しか占めないため (Kudou ら 1991) 解析対象から除いた. また, 粉碎試料の一部を用いて含水量を測定し, 乾物 100 g あたりの換算値を総イソフラボン含量とした.

結 果

1. 栽培条件がイソフラボン含量およびその組成に及ぼす影響 (試験 I)

(1) イソフラボン含量とその年次間変動に及ぼす栽培条件の影響

第 1 図に各栽培条件におけるイソフラボン含量の 3 ヶ年平均値を示す. 成熟期がほぼ等しいスズカリとタチユタカのイソフラボン含量は栽培条件にかかわらず 2.1～2.7 倍の開きがあり, 明らかな品種間差が認められた. なお, 参考品種のふくいぶきはいずれの栽培条件でも他の品種より高いイソフラボン含量を示し, 解析に用いた 12 品種の平均値より普通畑標播で 62.7%, 転換畑標播で 81.0% 高い値を示した. 登熟期が低温で推移した 2001 年のふくいぶきは, 転換畑標播で 637.6 mg/100 gDW と全品種および栽培条件を通じて最も高い値を示した.

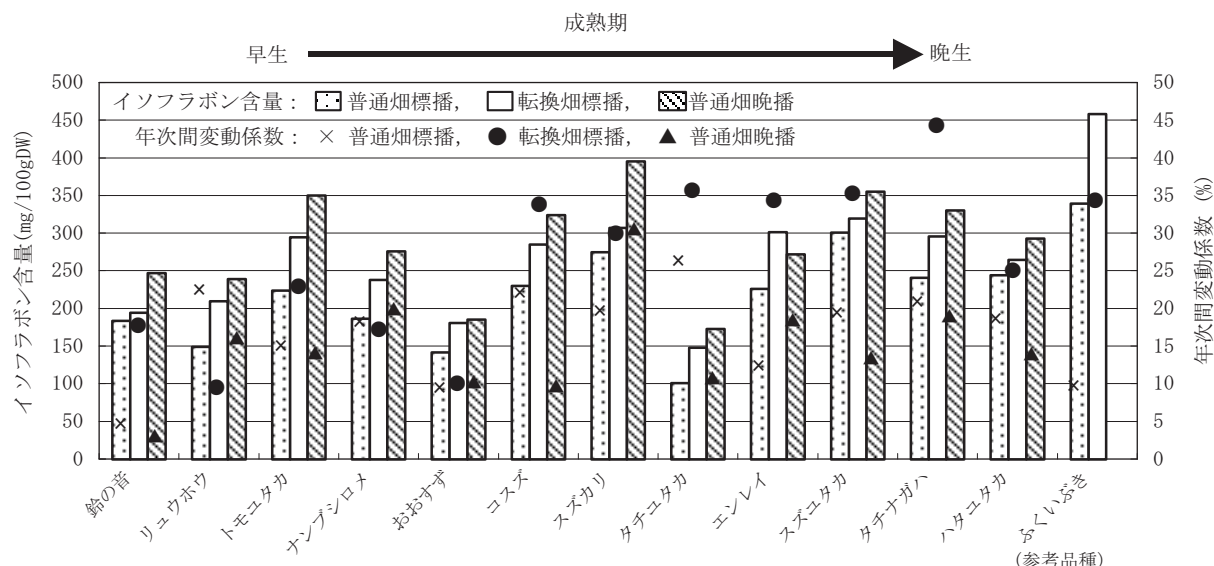
栽培条件別のイソフラボン含量は, エンレイを除いた品

種で普通畑標播<転換畑標播<普通畑晩播の順に高い傾向を示し, 全品種におけるイソフラボン含量増加率は普通畑標播対比で転換畑標播 21.5%, 普通畑晩播 37.5% であった. また, 普通畑標播でふくいぶきが示した 300 mg/100 gDW を超える品種の比率は普通畑標播 8%, 転換畑標播 25%, 普通畑晩播 42% であった. 普通畑標播に対する普通畑晩播のイソフラボン含量増加率を品種毎にみると, タチユタカ, リュウホウなどは, それぞれ 71.4%, 62.9% なのに対し, スズカリ, エンレイでは 18.2%, 20.3% であった. また, 普通畑標播のリュウホウとおおすずのイソフラボン含量はほぼ等しいのに対し, 転換畑標播では 15.8%, 普通畑晩播で 30.0% 程度リュウホウの含量が高くなった. 以上の結果は栽培条件, 特に播種期の遅延がイソフラボン含量の増加をもたらすものの, その増加程度には品種間差があることを示している.

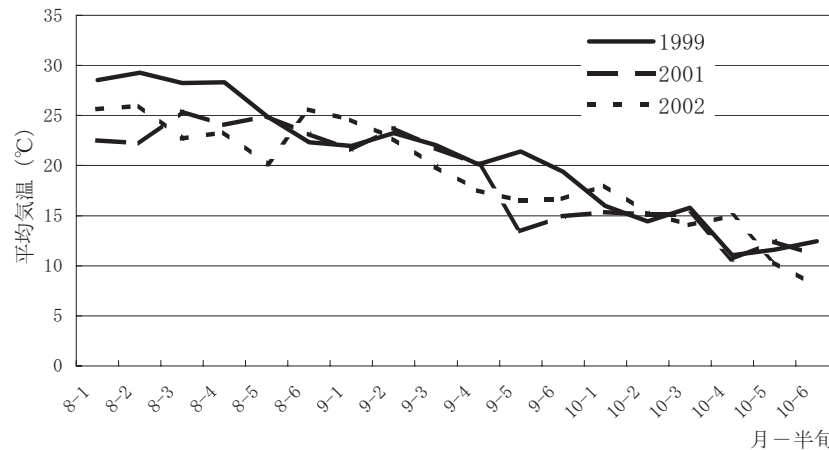
次に, イソフラボン含量の年次間変動に及ぼす各品種, 栽培条件の影響について評価を行った (第 1 図).

イソフラボン含量は品種, 栽培条件に加え栽培年次でも有意差が認められ (第 3 表), 全品種で 1999 < 2002 < 2001 年の順に高い値を示した. 1999 年と 2001 年の平均イソフラボン含量を比較すると, 普通畑標播で 38.4%, 転換畑標播で 68.1%, 普通畑晩播で 29.1%, それぞれ 2001 年の方が高かった. 子実肥大期に当たる 9 月の平均気温が 1999 年は 21.4℃なのに対し 2001 年は 19.3℃と 2.1℃差, 9 月下旬に限れば 1999 年が 20.8℃なのに対し 2001 年は 14.6℃と気温差は 6.2℃に拡大していた (第 2 図).

年次間変動は栽培条件間で 0.1% 水準の有意差が認められ (表省略), 年次間変動係数が 20% を超える品種の比率は普通畑標播 42%, 転換畑標播 75%, 普通畑晩播 17% であった. 転換畑標播の年次間変動が他の栽培条件より大きいのは, 2001 年のイソフラボン含量が他の 2 ヶ年の平均値



第 1 図 イソフラボン含量とその年次間変動に及ぼす品種および栽培条件の影響.
イソフラボン含量は3カ年, 3反復区の平均.



第2図 試験年における8月以降の半月毎平均気温の推移.

第3表 イソフラボン含量およびその組成比に及ぼす栽培条件, 品種, 栽培年次の影響.

	ダイゼイン	ゲンステイン	マロニル ゲンステイン	ケニステイン	ケニスチン	マロニル ケニスチン	total	D/DG率 (%)
栽培条件	**	**	**	**	*	**	**	ns
品種	**	**	**	**	**	**	**	**
栽培年次	**	**	**	**	**	**	**	ns
栽培条件×品種	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
栽培条件×栽培年次	**	**	**	**	**	**	**	*

**, *はそれぞれ1, 5%水準で有意差あり. nsは有意差なし.
調査年: 1999, 2001, 2002年.

より高いためであり, 全品種の成熟期前1ヶ月間の平均気温を比較したところ, 普通畑標播の登熟期温度は2001年が18.1℃, 1999, 2002の2ヶ年の平均値は17.8℃とそれほど変わらないのに対し, 転換畑標播はそれぞれ16.1, 17.4℃と2001年の方が1.3℃低かった. また, 全品種における普通畑標播と転換畑標播間の成熟期差は1999, 2002の2ヶ年平均が1.0日なのに対し2001年は8.1日と通常より成熟期が遅延したことで登熟期間が低温となり, イソフラボンの高含量化, ひいては年次間変動の増大を招いたものと考えられた.

年次間変動は品種間で10%水準の有意差を示した(表省略). 普通畑標播で最も年次間変動が小さい鈴の音は変動係数が6%なのに対し, 最大のタチユタカは27%であった. 一方, おおすずのイソフラボン含量は栽培条件による変動が少なく, 年次間変動も安定していた. 本試験で, イソフラボン含量と成熟期の年次間変動の大きさには相関関係が認められず, 以上の結果は, 栽培条件と品種によってイソフラボン含量の年次間変動に違いが生じることを示している.

(2) 栽培条件がイソフラボン成分組成に及ぼす影響

今回測定した6種類のイソフラボン成分はダイゼイン, ゲンステインの2種類のアグリコンから構成されており, 分子量換算でそれぞれの含量を求めることが出来る. そこでD/DG率(%), 総ダイゼイン/(総ダイゼイン+総ゲン

ステイン)×100)を用いて, 各品種におけるアグリコン組成比の評価を行った. その結果, アグリコン組成比に品種間差は認められるものの, 栽培年次, 栽培条件による有意差は認められなかった(第3表). また, イソフラボン含量の年次間変動がいずれの栽培条件でも10%前後のおおすずと20~31%と比較的高い値を示したスズカリについて, 栽培条件がイソフラボン成分組成に及ぼす影響について検討した結果を第4表に示す. 両品種間でいずれの栽培条件でも各イソフラボン成分の組成比に有意な違いは認められなかった. 既に前報(境ら2005)でイソフラボン成分組成の年次間変動が小さいことを報告したが, 栽培条件の違いにおいても同様のことが確認された.

2. 栽植密度がイソフラボン含量およびその組成に及ぼす影響(試験Ⅱ)

各栽植密度におけるスズカリ, タチユタカのイソフラボン含量とその成分組成を第5表に示した. 1999年, スズカリのイソフラボン含量は密植するほど高くなり, 2001年には逆の傾向にあった. 同様にタチユタカも栽植密度とイソフラボン含量に一定の傾向は示さなかった. 各イソフラボンの成分組成比についてはイソフラボン含量と同様, 栽植密度および品種, すなわち草型の影響は認められなかった.

収量に対する栽植密度の効果を2001年に調査した結果, スズカリが密植区(38.1±5.0 kg/a), 標準区(33.7±1.1 kg/a), 疎植区(32.4±1.9 kg/a), タチユタカが密植区(30.9

第4表 栽培条件の違いがおおずとスズカリのイソフラボン成分組成に及ぼす影響.

栽培条件		イソフラボン成分組成比（％）						D/DG率 （％）
		ダイゼイン	ダイスイン	マロニル ダイスイン	ゲニステイン	ゲニスチン	マロニル ゲニスチン	
おおず	普通畑標播	1.2a	7.1a	35.3a	1.1a	7.3a	48.0a	43.6a
	転換畑標播	0.8a	6.2a	34.4a	0.9a	6.7a	51.0a	41.7a
	普通畑晩播	0.7a	6.7a	34.9a	0.9a	6.9a	49.7a	42.3a
スズカリ	普通畑標播	0.9a	7.6a	29.1a	1.1a	8.5a	52.9a	37.6a
	転換畑標播	0.8a	6.6a	29.9a	1.1a	8.3a	53.3a	37.3a
	普通畑晩播	0.9a	9.9a	29.8a	1.1a	8.6a	49.7a	40.6a

Tukeyの多重検定は各品種ごとに行い、同一アルファベット間には5%水準で有意差なし.

調査年: 1999, 2001, 2002年.

第5表 栽植密度がスズカリとタチユタカのイソフラボン含量およびその成分組成に及ぼす影響.

品種	栽植密度 (株/m ²)	栽培年次	イソフラボン含量 (mg/100gDW)							D/DG 率(%)
			ダイゼイン	ダイスイン	マロニル ダイスイン	ゲニステイン	ゲニスチン	マロニル ゲニスチン	total	
スズカリ	密植区 (16.7)	1999	4.1	36.2	51.9	4.3	39.6	95.7	231.9	39.9
		2001	3.0	19.8	66.2	3.9	27.0	117.8	237.7	37.2
		2002	2.7	28.4	82.2	3.7	27.3	134.4	278.7	40.4
		平均	3.3	28.1	66.8	4.0	31.3	116.0	249.4	39.2
		(平均組成比%)	(1.3)	(11.3)	(26.8)	(1.6)	(12.5)	(46.5)	(100.0)	
	標準区 (11.1)	1999	4.5	34.5	49.5	5.0	39.8	94.7	227.9	39.0
		2001	3.0	20.2	66.6	4.1	28.0	123.0	244.9	36.4
		2002	3.1	28.2	80.2	3.8	27.9	132.3	275.5	40.3
		平均	3.5	27.6	65.4	4.3	31.9	116.7	249.4	38.6
		(平均組成比%)	(1.4)	(11.1)	(26.2)	(1.7)	(12.8)	(46.8)	(100.0)	
	疎植区 (8.3)	1999	4.0	31.5	46.2	4.2	37.7	89.4	212.9	38.5
		2001	3.2	21.1	72.4	4.3	30.3	133.6	264.9	36.2
		2002	2.8	29.6	83.3	3.6	30.3	138.3	288.0	40.0
		平均	3.4	27.4	67.3	4.0	32.8	120.4	255.3	38.3
		(平均組成比%)	(1.3)	(10.7)	(26.4)	(1.6)	(12.8)	(47.2)	(100.0)	
タチユタカ	密植区 (16.7)	1999	1.9	14.7	21.1	1.5	12.4	32.7	84.4	45.0
		2001	1.5	10.9	34.4	1.5	8.7	45.7	102.8	45.4
		2002	1.6	5.9	31.3	1.7	8.4	45.7	94.4	40.6
		平均	1.7	10.5	28.9	1.5	9.8	41.4	93.9	43.7
		(平均組成比%)	(1.8)	(11.2)	(30.8)	(1.6)	(10.5)	(44.1)	(100.0)	
	標準区 (11.1)	1999	1.9	14.5	19.8	1.6	12.0	30.2	80.0	45.6
		2001	1.6	13.2	34.1	1.6	9.2	44.9	104.5	46.6
		2002	0.8	6.2	33.3	1.2	8.6	48.2	98.5	40.4
		平均	1.4	11.3	29.1	1.5	9.9	41.1	94.3	44.2
		(平均組成比%)	(1.5)	(12.0)	(30.8)	(1.6)	(10.5)	(43.6)	(100.0)	
	疎植区 (8.3)	1999	2.0	14.5	20.0	1.7	13.0	32.3	83.5	43.9
		2001	1.7	12.2	34.8	1.7	9.0	46.3	105.7	45.9
		2002	0.8	6.4	33.8	1.2	9.1	50.7	102.0	39.6
		平均	1.5	11.0	29.5	1.5	10.4	43.1	97.0	43.2
		(平均組成比%)	(1.5)	(11.4)	(30.4)	(1.6)	(10.7)	(44.4)	(100.0)	
栽植密度			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
品種			**	**	**	**	**	**	**	
栽培年次			**	**	**	*	**	**	**	
栽植密度×品種			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
栽植密度×栽培年次			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

各試験区, 栽培年次における各イソフラボン成分含量は3反復区の平均.

**, *はそれぞれ1, 5%水準で有意差あり. nsは有意差なし.

± 1.7 kg/a), 標準区 (29.3 ± 2.1 kg/a), 疎植区 (26.6 ± 3.8 kg/a) と分散分析の結果有意ではないが, 密植するほど収量が高くなる傾向を示した.

3. 播種期がイソフラボン含量およびその組成に及ぼす影響 (試験Ⅲ)

試験Ⅰで晩播によってイソフラボン含量が増加することを示したが, 実際のダイズ生産現場では作付け体系や天候などで播種期が前後する. 本試験では, 比較的イソフラボン含量が高く, 試験Ⅰ, Ⅱに供試したスズカリを用いて播

種期の遅延程度がイソフラボン含量に及ぼす影響を検討した.

イソフラボン含量は試験区間で有意差が認められ, 遅播きするに従いイソフラボン含量も高くなった (第6表). 特に標播区～中晩播区間のイソフラボン含量増加率は21.4%であるのに対し, 中晩播区～晩播区間は31.1%と後者でより高く, 成熟期の遅延程度との一致がみられた. 試験Ⅰと同様, 成熟期前1ヶ月間の平均気温についてみると, 標準区 21.2℃, 中晩播区 20.4℃, 晩播区 18.1℃とイソフラボン含量とは逆相関関係を示した ($r = -0.99$,

第6表 播種時期がスズカリのイソフラボンおよびその他の子実成分に及ぼす影響 (2000).

試験区	播種日 (月日)	成熟期 (月日)	粗蛋白質 含有率 (%)	粗脂肪 含有率 (%)	イソフラボン成分組成比 (%)						イソフラボン 含量 (mg/100gDW)	D/DG率 (%)
					ダイゼイン	ダイスイン	マロニル ダイスイン	ゲニステイン	ゲニスチン	マロニル ゲニスチン		
スズカリ 標播区	5.25	9.29	36.5a	22.5a	1.0a	6.8a	27.6a	1.3a	9.4a	53.6a	324.9a	35.3a
中晩播区	6.16	10.2	34.8a	22.8a	0.9a	8.6a	29.0a	1.1a	8.9a	51.6a	394.4b	38.2a
晩播区	6.30	10.13	34.1a	22.1a	0.9a	9.1a	29.0a	1.3a	9.4a	50.2a	516.9c	38.8a

Tukeyの多重検定で同一アルファベット間には5%水準で有意差なし.

$p < 0.036$, $n = 3$). 一方, イソフラボン成分組成比は試験 I と同様, 播種期による違いは認められなかった. また, その他の子実成分である粗蛋白および粗脂肪含有率に対する播種期の影響はみられなかった.

4. 土壌条件および窒素肥料, 施肥法がふくいぶきのイソフラボン含量およびその組成におよぼす影響 (試験IV)

本試験で供試したふくいぶきは東北地域で栽培される既存品種よりイソフラボン含量が高い (遠藤ら 2004, 島田ら 2004) が, ここではよりイソフラボン含量を高めるため, 栽培土壌および窒素施肥法についての検討を行った.

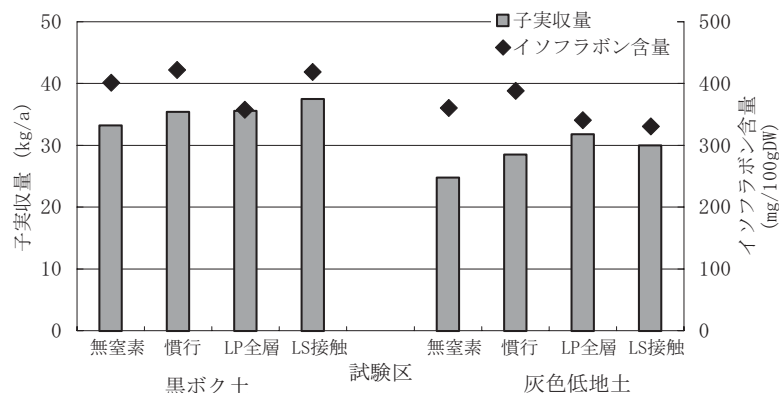
第3図にイソフラボン含量と収量データを示す. ふくいぶきの場合, 同一施肥条件下で灰色低地土より黒ボク土の方がイソフラボン含量は高くなる傾向を示した. 一方で, 肥効調節型肥料は増収効果を示すものの無窒素区よりイソフラボン含量が低い場合があり, イソフラボン含量と子実収量との関係は認められなかった. また, LP全層区に対するLS接触区のイソフラボン含量は, 黒ボク土で高く, 灰色低地土で低い傾向を示すなど窒素施肥がイソフラボン含量に及ぼす影響は判然としなかった. 分散分析の結果, 10%水準で両土壌間に有意差があるものの, 施肥処理間の有意差は認められなかった (表省略). 一方, D/DG率に及ぼす土壌の影響はみられなかった.

各試験区における施用窒素量はいずれも等しいが, 施肥条件毎に肥料の溶出特性と施肥位置が異なるため, 種子近傍の硝酸態窒素濃度は生育期間を通じて数倍の較差を示し

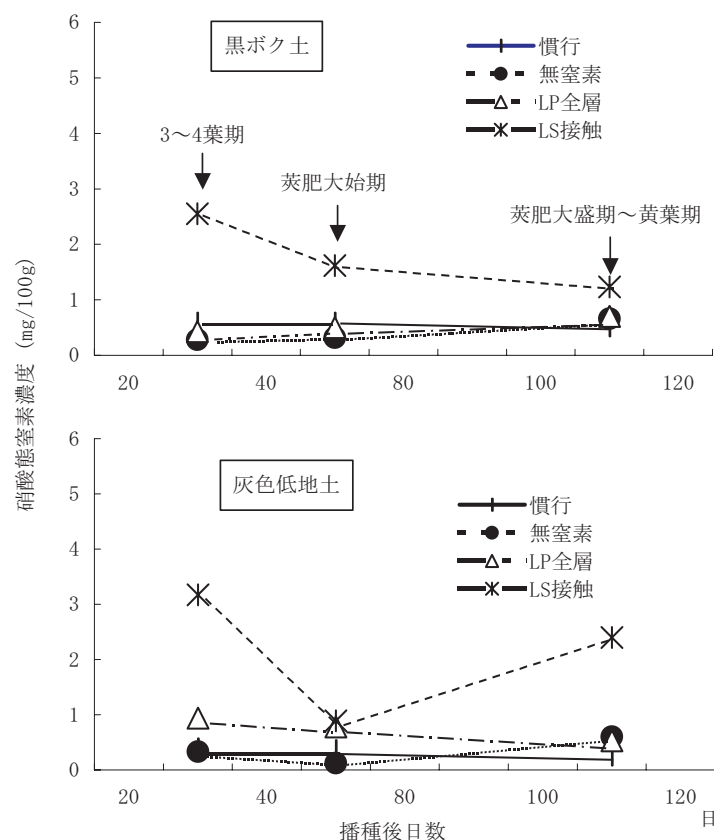
た (第4図). しかし, イソフラボン含量と各生育時期における硝酸態窒素濃度に相関関係は認められなかった.

考 察

高イソフラボン含有大豆の生産には, 栽培条件, 年次によるイソフラボン含量の変動が少なく, 安定して高い品種が望ましい. 品種, 栽培年次および栽培地がイソフラボン成分組成および総イソフラボン含量に及ぼす影響については既に報告がある (Wang and Murphy 1994, Hoeck ら 2000, Lee ら 2003) が, 栽培条件による変動についての報告は無い. イソフラボン含量の年次間変動は13~61% (境ら 2005) と, 主要な子実成分である粗蛋白質および粗脂肪含量の年次間変動, 各々2~6%, 1~5% (山内 1971) より顕著に大きく, 栽培条件の影響を明らかにすることが高イソフラボン含有大豆の安定生産には重要である. 我が国におけるダイズ栽培は多様な条件下で行われているが, 複数年にわたり栽培条件によるイソフラボン含量の変動を評価した例はない. そこで試験 I では, 東北地域の主要なダイズ品種群を各種栽培条件下で3ヶ年にわたり栽培し, イソフラボン含量とその組成の変動について検討した. 試験 I で用いた12品種は1998年の総栽培面積が東北地域の大豆作の70%以上を占める主要な品種群で, 品種間の成熟期差は普通畑標播で最大約1ヶ月に達するなどその生態型は大きく異なる. 子実の種皮色は黄白もしくは黄, 臍色・子葉色はいずれも黄に分類され, 粒大以外に外観上大きな差異はない. 晩播栽培による小粒化と粗蛋白質含量の増加は



第3図 土壌, 施肥条件がふくいぶきのイソフラボン含量および子実収量に及ぼす影響.
子実収量およびイソフラボン含量は2反復区の平均.



第4図 土壌条件別にみた播種種子付近における土壌中硝酸態窒素濃度の経過。

負の相関を示すことが報告されている(新田 1952)が、本試験では粒大差が品種に由来するものであり、百粒重とイソフラボン含量に相関関係は認められていない(境ら 2005)ことから、イソフラボン含量に及ぼす栽培条件、品種および栽培年次の影響を検討する上で、品種間の粒大差の影響は無視できると考えた。

イソフラボン含量は栽培環境の影響が大きく、Hoeck ら (2000) は複数の栽培地、品種で2ヶ年にわたり評価を行い、栽培地で1.4倍、栽培年次で1.7倍、同様にLee ら (2003) は3ヶ年の評価でそれぞれ1.1倍、1.4倍の含量差を示すとしている。以上の報告は栽培地、栽培年次とイソフラボン含量の関係について、登熟期の低温がイソフラボン含量を増加させたとするTsukamoto ら (1995) の報告にその根拠を求めている。また、Carrao-Panizzi ら (1998) は同一品種を緯度の違う地域で栽培し、高緯度地域における含量増加を認め、それが登熟期温度の影響であることを報告している。国内でも、前報(遠藤ら 2004)で登熟期後半の気温がイソフラボン含量に特に影響を及ぼすことを報告した。また、栽培法によるイソフラボン含量の向上については、晩播が夏大豆の含量増加を促すとされており(Kitamura ら 1991)、これも登熟期温度の影響と推察できる。本報告でも試験Ⅰでイソフラボン含量の増加には晩播が有効であることを認めており、結果1-(1)で述べたように成熟期の

遅延がその要因と考える。すなわち、普通畑標播、転換畑標播に対する普通畑晩播の成熟期の遅れは3ヶ年、12品種平均でそれぞれ+10.0、+6.6日であり、成熟期前1ヶ月間の平均気温も普通畑標播、転換畑標播よりそれぞれ2.1、1.2℃低い。試験Ⅲでは播種期を遅らせるに従いイソフラボン含量が増加し、登熟期温度とは負の相関関係にあることを認めている。加えて、晩播でイソフラボン含量の年次間変動が減少することを試験Ⅰで確認しており、これは登熟期間の短縮がイソフラボン蓄積に対する他の変動要因の影響を抑えたものと推察された。ただし、晩播がイソフラボン含量向上に有効である一方、その増加率には品種、年次間差があり、おおすず、リュウホウのように同一作期、同一産地で作付け可能な両品種間に認められる含量増加率、年次間変動の差は、高イソフラボン含有ダイズの生産における品種選択の重要性を示唆している。

イソフラボン含量の増加程度は晩播ほど高くはないが、全供試品種のイソフラボン含量を平均値と比較した場合、3ヶ年の平均で水田転換畑は普通畑標播より約20%高く、普通畑標播と転換畑標播の成熟期がほぼ等しい1999、2002年のいずれにおいても転換畑標播の方が約12%高かった。試験年が同じ場合、気象条件がほぼ等しいこと、転換畑標播の試験圃場周辺が水田であることから、土壌水分の影響は大きいと考えられる。ポット試験では、土壌水分の低下

が粗蛋白質、粗脂肪含量を増加させたとの報告(岡本 1951, 植田 1952)があるが、普通畑と転換畑で行った圃場試験では蛋白質、脂肪、炭水化物含量に差はみられない(平ら 1982)。一般的に普通畑より転換畑の方が地下水位が高く、根は短く地表部に分布し(Shimada ら 1995)、逆に乾燥条件下では土壤深くまで発達することから(Hirasawa ら 1994)実際の根域付近の土壤水分には差を生じず、湿害が生じるほどの極端な土壤水分条件下でなければ子実成分に及ぼす影響は小さいためと考えられる(斎藤・金森 1994)。一方で、平ら(1977)は土壤水分の増加に伴う地温の低下(植田 1952)が、脂肪酸組成およびその含量の変動を引き起こすとしている。普通畑と転換畑のイソフラボン含量差も地温、あるいは転換畑における地上部の旺盛な生育が光透過量、すなわち群落内の気温に影響した可能性も考えられるが、地力を含む土壤条件の違いについてもより詳細に検討する必要がある。

これまで述べてきたように、安定して高いイソフラボン含有ダイズの生産には晩播栽培が有利といえるが、単位面積当たりのイソフラボン収率は転換畑標播が最も高く、1999年の全品種を込みにした単位面積当たりイソフラボン収量は普通畑標播 33 g/a、転換畑標播 56 g/a、普通畑晩播 43 g/a であった。水田転換畑は普通畑より多収を示すためであり、一般の生産圃場でも同様の傾向を示すと推測される。ただし、参考品種であるふくいぶきは普通畑標播でも 69 g/a と高いイソフラボン収率を示した。食品加工用には単位子実重あたりのイソフラボン含量が重視されることを考慮すれば、やはり品種の比重は大きいといえよう。

一般的に晩播栽培がイソフラボン含量の向上には有利だが、他の栽培条件に比べ収量性は最も低い。収量性の向上には品種毎に圃場にに応じた栽培条件を設定する必要がある。国分(1988)は草型に応じた栽植密度の検討が必須としている。今回、5月下旬播種では密植するに従いスズカリ、タチユタカともに増収傾向を示したが、密植の晩播による減収歩合の軽減効果は高く(桐原・高島 1964)、収量確保の点から播種時期に応じた栽植密度の最適条件を品種毎に設定する意義は大きい。栽植密度と子実成分の関係については、栽植密度が高くなるに従い蛋白質含量が増加(山内ら 1978, 内川ら 2004)し、脂肪含量には変化が認められないとの報告(山内ら 1978)がある一方で、脂肪、炭水化物および灰分含量は低下するとの報告(平ら 1980)がある。これに対し斎藤・金森(1994)は、倒伏および倒伏に伴う落莢が体内養分の分配の不均衡を生じ、それが子実成分の栽植密度反応として捉えられた可能性を論じており、実際の生産圃場における6~18本/m²の栽植密度では成分組成の変動は少ないとしている。試験Ⅱでは、倒伏による減収およびそれに伴う子実成分への影響を避けるため耐倒伏性が比較的高いスズカリ、タチユタカを供試した。いずれの品種もイソフラボン含量における密度反応は試験年次で異なり、明確な栽植密度および草型の影響は認めら

れなかった。収量関連形質の栽植密度反応は草型により異なり(堀江ら 1971)、最大収量を示す栽植密度も品種毎に異なるとされている(Johnson and Harris 1967, Wilcox 1974)。従って、栽植密度に関しては、イソフラボン含量よりむしろ倒伏や収量性等に配慮し、品種毎の最適密度を設定することが重要であろう。

実際のダイズ生産は、土壤の種類や肥沃度およびそれに伴う施肥管理の異なる圃場で行われる。土壤母材(矢野ら 1983)や土壤の肥沃度(Carter and Hopper 1942)、また、施肥(平ら 1980)によって生育特性が変化しても粗蛋白質、粗脂肪含有率などの子実成分には影響がないとされている。ふくいぶきを用いた試験Ⅳでは、イソフラボン含量に対する根域の窒素濃度の影響はみられず、施用窒素量に応じて直ちにイソフラボン含量が増加するとは考え難い。一方で、灰色低地土より肥沃土の高い黒ボク土で有意にイソフラボン含量が高かった。成熟期はいずれの試験区も両土壤間で差はなく、従って登熟期温度の影響は無視できる。イソフラボンに関してはカリ施肥で含量の増加が報告されている(Vyn ら 2002)ことから、土壤の物理性あるいは肥沃度などに対する反応が他の子実成分と異なることが推察された。試験Ⅰで普通畑と転換畑の成熟期がほぼ同じ1999年と2002年に認められた両圃場間のイソフラボン含量差についても、土壤水分に加え土壤の違いにより生じた可能性が考えられる。

以上、栽培条件や栽培法によるイソフラボンの高含量化について検討した結果、単位子実重当たりイソフラボン含量が高く、年次間変動が少ないダイズ生産には晩播栽培が有効で、栽植密度や施肥・土壤条件のイソフラボン含量への影響はより小さいことが明らかとなった。また、遅播きするに従いイソフラボン含量が増加し、栽植密度のイソフラボン含量およびその成分組成に対する影響はみられないことから、晩播による低収化を密植栽培でカバーすることで、付加価値の高い高イソフラボン含有ダイズの生産が可能と考えられる。

今後は、普通畑や転換畑の晩播における栽植密度の違いがイソフラボン含量に与える影響や、気温以外の気象要因、土壤条件、他の肥料成分および施肥時期などについては、さらに詳細な検討を行い、より品種の性能を引き出す栽培の工夫を重ねる必要がある。

引用文献

- 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.
- Arjmandi, B. H., L. Alekel, B. W. Hollis, D. Amin, M. Guo P. Stacewicz-Sapuntzakis and S. C. Kukreja 1996. Dietary soybean protein prevents bone loss in an ovariectomized rat model of osteoporosis. *J. Nutr.* 126 : 161-167.
- Boquet, D. J. 1990. Plant population density and row spacing effects on

- soybean at post-optimal planting dates. *Agron. J.* 82 : 59–64.
- Carrao-Panizzi, M. C., K. Kitamura, A. D. P. Beleia and M. C. N. Oliveira 1998. Influence of growth locations on isoflavone contents in Brazilian soybean cultivars. *Jpn. J. Breeding*. 48 : 409–413.
- Cartter, J. L. and T. H. Hopper 1942. Influence of variety, environment, and fertility-level on the chemical composition of soybean seed. U.S. Dept. Agr. Tech. Bull. 787 : 66.
- 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.
- Hirasawa, T., K. Tanaka, D. Miyamoto, M. Takei and K. Ishihara 1994. Effects of pre-flowering soil moisture deficits on dry matter production and ecophysiological characteristics in soybean plants under drought conditions during grain filling. *Jpn. J. Crop Sci.* 63 : 721–730.
- Hoek, J. A., W. R. Fehr, P. A. Murphy and G. A. Welke 2000. Influence of genotype and environment on isoflavone contents of soybean. *Crop Sci.* 40 : 48–51.
- 堀江正樹・御子柴公人・荻原英雄 1971. 作物の諸特性についての統計学的研究. 第10報 大豆諸形質の品質の品種内個体間変異についての考察. *日作紀* 40 : 230–236.
- Johnson, B. J. and H. B. Harris. 1967. Influence of plant population on yield and other characteristics of soybeans. *Agron. J.* 59 : 447–450.
- 桐原三好・高島彰 1964. 大豆の晩植栽培に関する研究. *茨城農試研報* 6 : 43–51.
- Kitamura, K., K. Igita, A. Kikuchi, S. Kudou and K. Okubo 1991. Low isoflavone content in some early maturing cultivars, so-called "summer-type soybean" (*Glycine max* (L.) Merrill). *Jpn. J. Breed.* 41 : 651–654.
- 国分牧衛 1988. 大豆の Ideotype の設計と検証. *東北農試報* 77 : 77–142.
- Kudou, S., Y. Fleury, D. Welti, D. Magnolato, T. Uchida, K. Kitamura and K. Okubo 1991. Malonyl isoflavone glycosides in soybean seeds (*Glycine max* Merrill). *Agric. Biol. Chem.* 55 : 2227–2233.
- Lee, S. J., W. Yan, J. K. Ahn and I. M. Chung 2003. Effects of year, site, genotype and their interactions on various soybean isoflavones. *Field Crops Res.* 81 : 181–192.
- Messina, M. 1995. Modern applications for an ancient bean: soybeans and the prevention and treatment of chronic disease. *J. Nutr.* 125 : 567S–569S.
- 森下昌三・堀尾房造・佐々木泰弘 1987. わが国の水田における2毛作, 2年3作体系の栽培北限に関する研究. *農研センター研報* 7 : 83–100.
- Naim, M., B. Gestetner, A. Bondi and Y. Birk 1976. Antioxidative and antihemolytic activities of soybean isoflavones. *J. Agric. Food Chem.* 24 : 1174–1177.
- 新田一彦 1952. 大豆子実の脂肪及びたんぱく質含量に関する研究. *北農試集報* 63 : 64–69.
- 岡本嘉 1951. 土壤水分が大豆子実の発育に及ぼす影響. *日作紀* 19 : 315–318.
- 斎藤祐二・金森哲夫 1994. 大豆子実成分の変動要因の解析. *四国農試報* 58 : 1–43.
- 境哲文・菊池彰夫・島田尚典・高田吉丈・河野雄飛・島田信二 2005. ダイズ子実中のイソフラボン含量および組成の品種・系統間差異と子実特性および播種時期との関係. *日作紀* 74 : 156–164.
- Shimada, S., M. Kokubun and S. Matsui 1995. Effects of water table on physiological traits and yield of soybean, 1: Effects of water table and rainfall on leaf chlorophyll content, root growth and yield. *Jpn. J. Crop Sci.* 64 : 294–303.
- 島田信二・高田吉丈・境哲文・河野雄飛・島田尚典・高橋浩司・故足立大山・田淵公清・菊池彰夫・湯本節三・中村茂樹・伊藤美環子・番場宏治・岡部昭典・高橋信夫・渡辺巖・長沢次男 2004. 耐病虫性・多収・高イソフラボン含量ダイズ新品種「ふくいぶき」の育成. *東北農業研究センター報告* 102 : 41–56.
- 平春枝・平宏和・小沢栄二・佐々木邦年 1977. 水田転換畑栽培による大豆種子の化学成分組成. *日作紀* 46 : 103–110.
- 平春枝・平宏和・松川勲・三分一敬・堀江正樹 1980. 大豆の栽培における施肥量・栽植密度が子実の化学成分組成におよぼす影響. 第1報 タンパク質・脂質・炭水化物および灰分含量. *日作紀* 49 : 205–218.
- 平春枝・高木英雄・国分喜治郎・小山縣雄・星野四郎・宮内直利 1982. 国産大豆の品質 第2報 普通畑と水田転換畑栽培大豆子実の化学成分組成および加工適性の差異. *食総研報* 41 : 14–33.
- 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.
- 内川修・福島裕助・松江勇次 2004. 水田転換畑作ダイズの主茎と分枝に着実した子実タンパク質含有率と播種時期, 栽植密度との関係. *日作紀* 73 : 287–292.
- 植田宰輔 1952. 土壤水分が大豆の生育並びに収穫物に及ぼす影響. *日作紀* 21 : 125–126.
- Vyn, T. J., X. Yin, T. W. Bruulsema, C.-J. C. Jackson, I. Rajcan and S. M. Brouder 2002. Potassium fertilization effects on isoflavone concentrations in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. 50 : 3501–3506.
- Wang, H., and P. A. Murphy 1994. Isoflavone Composition of American and Japanese Soybeans in Iowa: Effects of Variety, Crop Year, and Location. *J. Agric. Food Chem.* 42 : 1674–1677.
- Wilcox, J. R. 1974. Response of three soybean strains to equidistant spacings. *Agron. J.* 66 : 409–412.
- 山内富士雄 1971. 大豆子実成分の年次間変動について. *北農試集報* 98 : 12–17.
- 山内富士雄 1978. 大豆の子実生産に関する解析的研究. 第4報 栽植条件と子実収量, 百粒重, たんぱく質および脂肪含量との関係. *北農試研報* 120 : 43–50.
- 矢野文夫・佐田利行・小野末太 1983. 各種の土壌における大豆根粒菌の接種効果. *長崎総農試研報* 11 : 13–33.

Effects of Cultivar and Crop Management on the Content and Composition of Isoflavone in Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] Seeds :Tetsufumi SAKAI¹⁾, Naoto NIHEI²⁾, Yoshitake TAKADA³⁾, Yuhi KONO³⁾, Koji TAKAHASHI⁴⁾ and Shinji SHIMADA⁵⁾ (¹⁾*Natl. Agric. Res. Cent. for Kyushu Okinawa Region, Miyakonojo 885-0091, Japan;* ²⁾*Fukushima Agric. Exp. Stn.;* ³⁾*Natl. Agric. Res. Cent. for Tohoku Region;* ⁴⁾*Natl. Inst. Crop Sci.;* ⁵⁾*Natl. Agric. Res. Cent.*)

Abstract : In this study, we examined the effects of the field type, planting density, seeding time, fertilizer and soil type, on the content and composition of isoflavone in soybean seeds for three years. The total isoflavone content of 12 soybean cultivars was higher in the order of upland field with regular seeding time (UR) < drained paddy field with regular seeding time (DR) < upland field with late seeding time (UL). The ratio of highest to lowest total isoflavone content was 3.0, 2.2 and 2.3, respectively in the 12 cultivars in UR, DR and UL. Moreover, the interannual coefficient of variation in total isoflavone content tended to be increased in the order of UL (4-31%) < UR (6-27%) < DR (10-44%). No significant difference was observed in either the content or composition of isoflavone among the three planting densities ranging from 8.3 to 16.7 hills/m² and the content was unrelated to yield in 'Suzukari' and 'Tachiyutaka'. On the other hand, the isoflavone content increased as the seeding time was delayed in 2000. The effects of the soil type and fertilizer on the contents and compositions of isoflavone, were examined using 'Fukuibuki' grown at Fukushima Agricultural Experiment Station in 2001. The kuroboku soil conditions, as compared with the grey lowland soil conditions, gave high isoflavone contents, but the composition was not changed. These results suggest that soybean with constantly high isoflavone content may be produced by late-season culture at a high planting density on fertile soil.

Keywords : Fertilization, Isoflavone compositions, Isoflavone contents, Planting density, Seeding time, Soil type, Soybean.
