

枝豆品種の品質評価に関する遺伝・
育種学的基礎研究

1998年

岩手大学大学院
連合農学研究科
生物資源科学専攻

(山形大学)

柳澤 康博

①

枝豆品種の品質評価に関する遺伝・
育種学的基礎研究

1998年

岩手大学連合大学院

連合農学研究科

生物資源科学専攻

(山形大学)

柳澤 康博

目次

序論	1
第1章 枝豆大豆品種および普通大豆品種における水溶性窒素含量と糖含量の 品種間差異および遺伝率について	
1-1 緒言	5
1-2 材料および方法	7
1-3 結果	9
1-4 考察	12
1-5 摘要	14
第2章 枝豆大豆品種および普通大豆品種における含有成分の 地域間差異について	
2-1 緒言	27
2-2 材料および方法	28
2-3 結果	31
2-4 考察	34
2-5 摘要	36
第3章 大豆の登熟にともなう窒素含量および遊離アミノ酸含量の変動	
3-1 緒言	48
3-2 材料および方法	50
3-3 結果	52
3-4 考察	54
3-5 摘要	56
第4章 大豆の品種間交雑における未成熟子実の水溶性窒素含量および糖含量の 遺伝様式の推定	
4-1 緒言	69
4-2 材料および方法	71
4-3 結果	73
4-4 考察	77
4-5 摘要	79
総合論議	94
参考文献	97
謝辞	103

序論

大豆 (*Glycine max* (L.) Merr.) は、マメ科 (*Leguminosae*)、マメ亜科 (*Faboideasae*)、ダイズ属 (*Glycine*) の1年生草本である。野生ダイズであるツルマメ (*Glycine soja*) は、東アジアに野生している。栽培型植物 (*Glycine max* L.) は、中国の東北地方の起源で、中国では古くから栽培されていた。日本には、縄文時代の秋田県小森山の堅穴の遺跡からダイズの炭化物が発見されており、このころから日本のダイズ栽培が始まったとみられる。文献としては、『古事記』や『日本書紀』のなかにみられる。日本におけるダイズは、味噌、醤油、納豆、豆腐など多くの食品に利用されている。ダイズの未成熟子実を食用とする枝豆の蔬菜としての利用については、いつ頃から利用されるようになったかは判然としないが、延喜式 (910頃) 内膳司には、「生大豆六把」の字句があり、また、中世後期の文永三年 (1266) の荘園の貢納物として「瓜、ナスヒ、枝大豆等三籠」とあり、ここに「枝」の文字が記されており、これよりも古くから枝豆として食されていたものと考えられる (青葉 1976)。

山形県庄内在来のダダチャマメについては、広瀬旭荘の九桂草堂随筆巻二 (1885頃) に、加藤清正の子、忠広公が鶴岡に配流された頃、鶴岡には風味の良い枝豆がすでにあり、忠広公は、郷里の熊本に送っていたと記されている (青葉 1976)。その頃から現在の茶豆として、庄

内地方で栽培されていたものと考えられる。また、韓国、中国、台湾などでもエダマメのようにダイズの未成熟子実を食用として利用していることが報告されているが、世界的にみるとマイナーな食品として扱われている (Lumpkin et al., 1993)。

エダマメは、同じマメ科のサヤエンドウ、サヤインゲンと同様に野菜に分類される (作物統計1987版)。国産においては、4月から10月までが主で、7月から8月が特に需要が多い。エダマメ品種は、開花、結実の温度感受性が高く、日長感受性の低い夏ダイズ型の品種が主に用いられる。開花、結実の日長感受性の高い秋ダイズ型の品種は、冷凍などの加工用に利用される。エダマメの栽培方法としては、11月から3月に播種し、ハウスによって加温して2月から4月まで収穫する促成栽培、12月から3月上旬にかけて播種が行われ、無加温のハウスで栽培する半促成栽培、2月から4月上旬に播種し、無加温のハウスやトンネルにより5月から7月に収穫する早熟栽培、露地で直播、または移植栽培が行われる作型で、3月中旬から7月上旬に播種し、6月から10月にかけて収穫される普通栽培と4つに分類される (河野 1987)。

エダマメの品種については、同種異名、および類似品種が多種あるが、4つに分類された作型に応じて、促成栽培、半促成栽培、早熟栽培においては、褐毛で極早生タイプの奥原早生、早生タイプの吉岡大粒、白毛で早生タイプのサッポロミドリ、早中生タイプのユキムスメなどの品種が用いられている。露地栽培では白毛で中生タ

イブの三河島、中晩タイプの鶴の子、褐毛で早生の白鳥などが利用されている。地方の特産物に関しては、山形県庄内地方におけるダダチャマメ、新潟県黒崎町における黒崎茶豆、京都府の中央部と兵庫県東部の多気郡一帯に産する黒ダイズの丹波黒がある（河野 1987）。

「ダダチャマメ」は、早生ダダチャ、小真木ダダチャ、早生白山ダダチャ、白山ダダチャ、外内島ダダチャ、紫ダダチャ、金峰ダダチャ、晩生ダダチャの8品種がある。一般にダダチャマメは、露地栽培で行われる。その中でも5月上旬に播種し、8月中旬から下旬にかけて収穫される早生白山ダダチャ、白山ダダチャが良食味であるといわれている。

本研究においてはこのダダチャマメの作型、つまり露地栽培において8品種のダダチャマメを中心に枝豆大豆品種の食味に関する成分分析を行い、品質評価を行った。

これまでエダマメの品質評価については、吸水特性（赤沢ら 1990）、水溶性窒素含量（赤沢ら 1990）、糖含量（赤沢ら 1990; 増田 1992）、脂質含量（赤沢ら 1991）、デンプン含量（赤沢ら 1991）、遊離アミノ酸含量（渡辺ら 1982; 増田ら 1993; Akazawa et al., 1997）、香気成分（菅原ら 1988）などの研究が行われてきた。しかし、これらの研究は、単年度のみ結果であり、環境による含有成分の変動については触れられていない。また、エダマメの保存時における成分の変化や保存方法などによる成分の変動（阿部・奥田 1986; 岩田・白幡 1979; 増田ら 1988; 増田 1989; 福島ら 1983）などの研究も行われている。大豆の未成熟子実に関

する遺伝学的研究については、F₂世代における糖含量の遺伝（鶴沢ら 1987）が行われているのみである。

本研究は、第 1 章において、一般に穀物として扱われる普通大豆品種と枝豆大豆品種について水溶性窒素含量、全糖含量について年次間変化を調査し、品種間差異を検討した。第 2 章では、岩手、秋田、山形、福島の 4 地区において 8 品種を栽培し、含有成分の環境変動について調査した。第 3 章では、枝豆大豆品種および普通大豆品種における水溶性窒素含量、遊離アミノ酸含量、全窒素含量の経時的変動について調査し、種子への登熟に関する 2 つの品種群の違いについて考察した。また、第 4 章では、普通大豆品種のヒゴムスメと枝豆大豆品種の中生光黒、白山ダダチャとの交配を行い、高水溶性窒素含量、高糖含量の遺伝様式について検討した。

第 1 章 枝豆大豆品種および普通大豆 品種における水溶性窒素含量、 糖含量の品種間差異および遺伝 率について

1-1 緒言

枝豆大豆品種および普通大豆品種の比較は、完熟種子の吸水特性（赤沢ら 1990）について行われており、枝豆大豆品種は、普通大豆品種に比べて種子の吸収率が高く、糖含量や水溶性の窒素成分など、植物体内で浸透圧を高める吸水性の高い成分が多く含まれていることが示唆されている。これまで、完熟種子の大豆の成分については、タンパク質含量（海妻ら 1974）や、大豆の青臭みの原因となるリポキシゲナーゼなど（Kitamura 1984）不良成分の除去についての研究、必須アミノ酸や含硫アミノ酸を増大させるために、貯蔵タンパク質であるグリシニン（11S）と β -コングリシニン（7S）の比率を改良（Ogawa et al., 1989）し、栄養価を高める研究が行われている。

大豆の未成熟子実を食用とする枝豆としての品質評価の一つである食味に関する含有成分の研究は少なく、シヨ糖含量、遊離アミノ酸のグルタミン酸が、食味に関与していることを示唆している研究のみである（増田 1989）。

山形県庄内地方のダダチャマメ系統は、一般に甘みが強く良食味であるといわれている。しかし、一般の枝豆大

豆品種や、穀物として扱われる普通大豆品種との比較に関する検討が十分になされていない。

本章は、大豆の未成熟子実中の水溶性窒素含量および全糖含量の品種間差異を検討して、ダダチャマメ系統の特性を明らかにし、育種学的に利用する基礎資料を得ることを目的として行った。

1-2 材料および方法

本実験では、1994年と1995年に普通大豆30品種、枝豆大豆34品種を供試し（Table 1-1）、開花期によって、6月に開花した品種を早生、7月に開花した品種を中生、8月に開花した品種を晩生とした。5月10日にハウス内でビニールポットに播種し、10日間育成し、山形大学農学部附属農場に5月20日に定植した。施肥は、大豆用化成肥料（ $N:P_2O_5:K_2O=60:180:240 \text{ g Kg}^{-1}$ ）を100Kg $10a^{-1}$ の割合で施用した。畝幅は80cmとし、株間は、早生品種で15cm、中生品種で25cm、晩生品種で35cmとした。

1994年と1995年の気象条件を比べると、最低気温については差がみられなかったが、最高気温については、定植後から植物体が70%開花した日（以下、開花日）までの平均気温、開花日から枝豆としての収穫日（以下、収穫日）までの平均気温とも、1994年の方が2~3℃高い値を示した（Table 1-2）。開花日は、1995年には、1994年と比べると、7日から10日遅れた。しかし、2ヶ年の定植から開花日までの日数、開花日から収穫日までの各品種の日数については、それぞれの相関係数が、0.974、0.892（それぞれ0.1%レベルで有意）となり、品種間での年次による大きなばらつきは少ないことが示唆された。

枝豆としての未成熟子実の収穫は、生育ステージで莢が70~80%充実した段階（Lumpkin 1993）で行った。開花日から収穫日までの日数は、早生品種で約30日、中生品種で約50日、晩生品種で約70日であった。

莢より未成熟子実を取り除いた後、EYLELA FD-80 type freezer

(Hitachi-koki Co., Ltd., Ibaraki, Japan) により凍結乾燥し、粉碎機 (U.D. Co., Boulder, CO) により粉碎し、48mesh 以下の粉末とした。

水溶性窒素含量の分析

粉末試料 1g に 25ml の純水を加え振盪後、75 °C に加熱し、5 % 硫酸マグネシウム ($MgSO_4$) 5ml を加えて濾過 (Toyo-Rosi No.2) し、ゲル成分を除去した。次いで 50ml に定量し、濾液 10ml を Kjeltec system 1026 (Nippon General Co. Ltd., Tokyo, Japan) によって、セミ・マイクロ・ケルダール法によって 3 反復で分析した。

全糖含量の分析

粉末試料 2g に 80 % のエタノール 25ml を加えて、95 ~ 98 °C で 60 分熱抽出し、冷却後に上澄を濾過し、それを 3 回繰り返して、100ml に定量した。次いで、この溶液 20ml をウォーターバス内で除アルコールを行い、飽和酢酸鉛 ($Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$) 水溶液 0.5ml を加えて、濾過 (Toyo-Rosi No.131) して除タンパクを行った。次いで、飽和硝酸カリウム (KNO_3) 水溶液 0.5ml を加えて過濾 (Toyo-Rosi No.7) して除鉛を行い、100ml に定量した。その後、この溶液 20ml に 25% 塩酸 (HCl) を加えて、25 °C の恒温器で 24 時間処理して単糖類に分解し、ソモギ・ネルソン法 (Somogyi, 1952) により全糖含量を分析した。

1 - 3 結果

Table 1-3 では、枝豆大豆品種および普通大豆品種の早生、中生、晩生の農業形質（草丈、1個体当たりの着莢数、1個体当たりの未成熟莢の枝豆としての重量、10莢当たりの重量）について示した。10莢当たりの重量については、早生、中生、晩生とも枝豆大豆品種群が、約 19 ~ 28 mg/10-pods であるのに対し、普通大豆品種群は、約 14 ~ 17 mg/10-pods であり群間で差異がみられた。このことは、枝豆大豆品種群は、大莢・大粒の品種が用いられていることを示している。また、各農業形質の 1994 年と 1995 年の相関関係は、Table 1-4 に示したように、各形質とも正の相関がみられ、年次間での大きな変動はみられなかった。

Table 1-5 に供試品種の水溶性窒素含量および全糖含量の値を示した。普通大豆品種および枝豆大豆品種の全品種の水溶性窒素含量は、1994 年は普通大豆品種群のスズユタカ（No.22）の 5.26mg/g-D.W. から枝豆大豆品種のサッポロミドリ（No.34）の 16.67mg/g-D.W. まで 11.41mg/g-D.W. の変異幅を示し、1995 年では、普通大豆品種のライコウ（No.15）の 5.11mg/g-D.W. から枝豆大豆品種群の黒鉄砲（早生）（No.47）の 14.85mg/g-D.W. まで 9.74mg/g-D.W. の変異幅を示した。また、普通大豆品種群の水溶性窒素含量の変異幅は、1994 年、1995 年でそれぞれ、4.20mg/g-D.W.、6.08mg/g-D.W. となり、枝豆大豆品種群の水溶性窒素含量の変異幅では、それぞれ 10.54mg/g-D.W.、8.33mg/g-D.W. であった。

次に全糖含量は、1994 年では普通大豆品種群の伊予大豆（No.24）の 42.76mg/g-D.W. から枝豆大豆品種群の庄内 5 号

(No.59) の 151.03mg/g-D.W.まで 108.27mg/g-D.W.の変異幅があり、1995年では、普通大豆品種群のトヨスズ (No.1) の 26.58mg/g-D.W.から、枝豆大豆品種群の庄内3号 (No.58) の 126.45mg/g-D.W.まで 99.87mg/g-D.W.の変異幅を示した。普通大豆品種群の全糖含量の変異幅は、1994年、1995年でそれぞれ、58.46mg/g-D.W.、46.56mg/g-D.W.となり、枝豆大豆品種群での全糖含量の変異幅では、それぞれ 101.17mg/g-D.W.、90.15mg/g-D.W.であった。両成分とも、枝豆大豆品種群は、変異幅が大きいものの普通大豆品種群に比べて高い傾向がみられた (Table 1-5)。庄内在来のダダチャマメ品種群は、系統内でばらつきはみられたが全糖含量において、他の枝豆大豆品種に比べて高い値を示した (Table 1-5)。枝豆大豆品種の早生系統は、水溶性窒素含量で中生品種群および晩生品種群より高い値を示した (Table 1-5)。種皮が黒色の中生品種である黒鉄砲、中生光黒については、両成分とも、ダダチャマメと同様に高い値を示した (Table 1-5)。普通大豆品種のヒゴムスメは、1995年のみであるが、枝豆大豆品種と同様の水溶性窒素含量の値を示した (Table 1-5)。

普通大豆品種群 30品種、枝豆大豆品種群 34品種について、それぞれ分散分析の結果を Table 1-6 に示した。水溶性窒素含量、全糖含量については、いずれも、品種の平均平方が、各品種群内および全品種群内で有意であった。年次の水溶性窒素含量の平均平方については、いずれも有意でなく、各品種群で遺伝的に差異の存在を示した。全糖含量については、全品種間、普通大豆品種内での年次間変動は有意であったが、枝豆大豆品種群内では、有

意でなかった。すなわち、枝豆大豆品種群の全糖含量は、この品種群内で全糖含量に関して、遺伝的差異の存在を示唆する結果となった。

また、理論的期待値から推定した2つの分散成分にもとづき、全品種の遺伝率を求めたところ、水溶性窒素含量が0.784、全糖含量が0.825であった。

Fig.1-1、-2に1994年および1995年の水溶性窒素窒素含量および全糖含量の関係を示した。両成分についての相関は、それぞれ $r=0.812$ 、 $r=0.797$ で正の相関（それぞれ0.1%レベルで有意）があり、遺伝的差異の存在が確認された。

Fig. 1-3では、2年間の平均値による水溶性窒素含量と全糖含量との関係を示した。両成分間には $r=0.792$ と高い正の相関があった。このことは、両成分において、登熟中に相互に密接な関係のあることが示唆される。

1 - 4 考察

これまで、大豆の未成熟子実を野菜として利用する枝豆大豆品種群と普通大豆品種群との品種群間差異については、水溶性窒素含量（赤沢ら 1990）、還元糖および非還元糖（赤沢ら 1990）、脂質（赤沢ら 1991）、デンプン（赤沢ら 1991）、について検討が行われている。その結果、水溶性窒素含量、糖含量は、枝豆大豆品種群が、普通大豆品種群に比べて高い傾向があり、脂質、デンプンについては差異がみられないが指摘されている。

枝豆の食味に関する研究は、増田（1988）により行われており、品種間での比較、貯蔵時における各成分の変動を分析し、官能検査と各成分との関係を検討した結果、ショ糖、遊離アミノ酸のグルタミン酸、アラニンが甘み、うま味、総合評価に関与していることが指摘されている。また、遊離アミノ酸含量と水溶性窒素含量との関係に関しては、赤沢ら（1997）は、アスパラギン、アラニン、グルタミン酸と正の相関があることを報告している。

登熟中におけるスクロース、デンプンなどの変動の品種間での検討が行われており、可溶性糖類の大部分がスクロースであることが指摘されている（増田 1992）。

本研究では、赤沢らの報告と同様に、両品種群間で差異がみられ、食味に関与する成分である水溶性窒素含量、全糖含量について2年間を通じて高い値を示した枝豆品種群の早生系統の品種、中生系統の庄内在来のダダチャ豆の数品種、黒鉄砲（早生）および中生光黒は、良食味品種育成のための枝豆の母本として有用であることが示

唆される。

古宇田（1934）は、「枝豆は、大豆の用途上の一異名であって、一般大豆と性状上異なるところとなく、品種としての特性が枝豆として区別されるに外ならない」としている。しかし、序論でも述べたように、市場性の観点から早生品種であること、および食味の観点から大莢・大粒である特徴が、枝豆として用いられていることと関係していると考えられる。

水溶性窒素含量と糖含量の間に高い正の相関がみられたことは、両成分の一方のみを分析することにより、育種上食味に関与するショ糖や、遊離アミノ酸も同時に高めることができる可能性が示唆された。

枝豆大豆品種群で普通大豆品種群と同様の含有成分の値を示した品種がみられた。また、普通大豆品種群におけるヒゴムスメは、1994年度のみであるが、枝豆大豆品種と同様の水溶性窒素含量の値を示した。ヒゴムスメは、完熟種子において高タンパク品種である。このことから、今後、完熟種子における高タンパク品種と未成熟子実の水溶性窒素含量との関係についての研究が必要である。

1-5 摘要

本研究では、大豆の未成熟子実中の水溶性窒素含量および全糖含量の枝豆大豆品種群および普通大豆品種群の品種群内間差異について検討した。

枝豆大豆品種群は、普通大豆品種群に比べて両成分とも高い値を示す傾向がみられた。また、枝豆大豆品種の黒鉄砲（早生）、中生光黒および山形県庄内在来のダダチャマメ系統が特に高い値を示し、良食味の枝豆品種の交配母本として有用であることが示された。

さらに、水溶性窒素含量および全糖含量の遺伝率は、それぞれ 0.784、0.825 であり、未成熟子実の両成分については、少数の主動遺伝子により支配されていることが推察された。

水溶性窒素含量および全糖含量は、0.792 と高い正の相関が見られ、両成分の一方のみを分析することにより、他の成分の推定が可能であることが示唆された。

Table 1-1. Dates of 70% flowering and harvesting as edamame in 1994 and 1995.
Grain-type soybean

Number and cultivar	Date of flowering		Date of harvesting	
	1994	1995	1994	1995
Early cultivar				
1. Toyosuzu	27 June	4 July	11 Aug.	20 Aug.
2. Tohoku 70	29 June	2 July	1 Aug.	11 Aug.
3. Kita-musume	29 June	5 July	5 Aug.	16 Aug.
4. Isuzu	30 June	6 July	3 Aug.	11 Aug.
Group mean	29 June	4 July	5 Aug.	15 Aug.
Medium cultivar				
5. Hime-yutaka	2 July	4 July	3 Aug.	11 Aug.
6. Karikati	5 July	7 July	2 Aug.	8 Aug.
7. Yu-zuru	11 July	16 July	18 Aug.	22 Aug.
8. Wase-shirome	11 July	18 July	13 Aug.	18 Aug.
9. Shirosaya 1	13 July	19 July	8 Aug.	15 Aug.
10. Higo-musume	16 July	21 July	12 Aug.	20 Aug.
11. Shin 3	17 July	24 July	15 Aug.	23 Aug.
12. Kogane-daizu	18 July	23 July	17 Aug.	24 Aug.
13. Hanayome-ibaraki	20 July	25 July	27 Aug.	2 Sept.
14. Norin 2	20 July	27 July	31 Aug.	10 Sept.
15. Raikou	20 July	25 July	2 Sept.	16 Sept.
16. Fusanari	23 July	2 Aug.	4 Sept.	10 Sept.
17. Shinano-shirome	23 July	1 Aug.	8 Sept.	23 Sept.
18. Miyagi-shirome	23 July	5 Aug.	22 Sept.	26 Sept.
19. Azeminori	24 July	27 July	28 Aug.	6 Sept.
20. Yagi 1	24 July	31 July	5 Sept.	15 Sept.
21. Iwate 1	24 July	30 July	8 Sept.	19 Sept.
22. Suzuyutaka	25 July	30 July	6 Sept.	16 Sept.
23. Enrei	25 July	30 July	7 Sept.	13 Sept.
24. Iyo-daizu	25 July	3 Aug.	12 Sept.	16 Sept.
25. Akita-ani	27 July	31 July	5 Sept.	16 Sept.
26. Oodate 1	28 July	1 Aug.	2 Sept.	15 Sept.
Group mean	19 July	25 July	27 Aug.	4 Sept.
Late cultivar				
27. Akiyoshi	8 Aug.	24 Aug.	25 Oct.	23 Oct.
28. Shin 4	9 Aug.	7 Aug.	26 Sept.	23 Sept.
29. Fukuyutaka	15 Aug.	18 Aug.	13 Oct.	17 Oct.
30. Tamahikari	16 Aug.	26 Aug.	11 Oct.	21 Oct.
Group mean	12 Aug.	19 Aug.	11 Oct.	14 Oct.

Table 1-1. Continued.
Vegetable-type soybean

Number and cultivar	Date of flowering		Date of harvesting	
	1994	1995	1994	1995
Early cultivar				
31. Sakamoto-wase	17 June	23 June	14 July	24 July
32. Ezonishiki	19 June	1 July	20 July	26 July
33. Siroge-green	19 June	27 June	19 July	27 July
34. Sapporo-midori	19 June	27 June	20 July	27 July
35. Okuhara-wase 1	19 June	29 June	19 July	28 July
36. Tasty 85	19 June	2 July	26 July	30 July
37. Shinsetu-midori	19 June	29 June	22 July	31 July
38. Okuhara-wase	19 June	2 July	27 July	6 Aug.
39. Hokkou-midori 2	25 June	29 June	28 July	1 Aug.
40. Ezomidori	27 June	2 July	26 July	1 Aug.
41. Sayakaze	27 June	27 June	28 July	1 Aug.
42. Iwahime	27 June	28 June	28 July	31 July
43. Wase-dadacha (togashi)	28 June	3 July	26 July	31 July
44. Wase-midori	29 June	2 July	29 July	5 Aug.
45. Hakuchou	29 June	2 July	5 Aug.	8 Aug.
Group mean	23 June	30 June	25 July	31 July
Medium cultivar				
46. Nakate-kurakake	1 July	9 July	15 Aug.	28 Aug.
47. Kuro-teppou (wase)	2 July	4 July	27 July	31 July
48. Chuusei-hikarikuro	3 July	12 July	5 Aug.	16 Aug.
49. Mikawasima	7 July	12 July	4 Aug.	13 Aug.
50. Tsurunoko	10 July	16 July	14 Aug.	22 Aug.
51. Iwate-zairai 1	10 July	16 July	4 Aug.	14 Aug.
52. Shounai 1	11 July	14 July	5 Aug.	11 Aug.
53. Shounai 2	11 July	16 July	8 Aug.	16 Aug.
54. Wase-dadacha	12 July	13 July	3 Aug.	11 Aug.
55. Wase-shirayama-dadacha	15 July	18 July	8 Aug.	16 Aug.
56. Aohira	16 July	23 July	26 Sept.	19 Sept.
57. Shirayama-dadacha	18 July	22 July	14 Aug.	21 Aug.
58. Shounai 3	18 July	23 July	15 Aug.	21 Aug.
59. Shounai 5	18 July	26 July	17 Aug.	23 Aug.
60. Murasaki-dadacha	19 July	26 July	16 Aug.	23 Aug.
61. Tonoshima-dadacha	21 July	23 July	22 Aug.	22 Aug.
62. Okute-dadacha	23 July	30 July	26 Aug.	29 Aug.
Group mean	12 July	17 July	13 Aug.	20 Aug.
Late cultivar				
63. Higan-ao	4 Aug.	5 Aug.	22 Sept.	23 Sept.
64. Hitori-musume	9 Aug.	16 Aug.	7 Oct.	3 Oct.
Group mean	7 Aug.	11 Aug.	30 Sept.	28 Sept.

Table 1-2. Temperature differences in 1994 and 1995.
From transplanting to 70% flowering

	Temperature			Daily differences
	Average	Maximum	Minimum	
Grain-type soybean				
Early cultivar	19.3	24.5	14.5	9.9
	18.7	23.1	14.7	8.4
Medium cultivar	20.8	25.8	16.4	9.4
	20.1	24.3	16.4	7.9
Late cultivar	22.7	27.8	18.2	9.6
	21.6	25.8	17.8	8.0
Total	20.9	25.9	16.4	9.5
	20.1	24.3	16.3	8.0
Vegetable-type soybean				
Early cultivar	19.2	24.6	14.2	10.4
	18.3	22.8	14.2	8.6
Medium cultivar	20.3	25.2	15.8	9.4
	19.6	23.8	15.9	7.9
Late cultivar	22.3	27.3	17.9	9.4
	21.2	25.4	17.4	7.9
Total	19.9	25.0	15.2	9.8
	19.1	23.4	15.3	8.2

Upper and lower (in bold) numerals indicate temperature values in 1994 and 1995, respectively.

Table 1-2. Continued.
 From 70% flowering to harvesting as edamame

	Temperature			Daily differences
	Average	Maximum	Minimum	
Grain-type soybean				
Early cultivar	25.0	29.8	20.8	9.0
	24.0	27.9	20.5	7.4
Medium cultivar	26.4	31.9	21.7	10.2
	24.0	28.3	20.1	8.3
Late cultivar	22.5	27.8	18.1	9.8
	19.7	24.6	15.2	9.4
Total	25.7	31.1	21.1	10.0
	23.5	27.8	19.5	8.3
Vegetable-type soybean				
Early cultivar	23.2	27.7	19.2	8.5
	23.0	26.8	19.7	7.1
Medium cultivar	26.4	31.7	21.7	10.0
	24.6	29.0	20.8	8.3
Late cultivar	24.0	29.5	19.4	10.0
	21.6	26.2	17.3	8.9
Total	24.8	29.8	20.5	9.3
	23.8	27.9	20.1	7.8

Upper and lower (in bold) numerals indicate temperature values in 1994 and 1995, respectively.

Table 1-3. Agronomic characteristics in 1994 and 1995.

	Plant height (cm)	Number of pods (/plant)	Weight of pods (g/plant)	Weight of pods (g/10-pods)
Grain-type soybean				
Early cultivar	37.43±1.63	53.50±3.34	84.38±7.37	15.95±0.78
	42.61±1.79	53.30±5.10	91.20±9.28	17.12±0.49
Medium cultivar	66.24±2.00	137.53±10.01	175.78±16.70	13.63±0.46
	72.05±2.21	169.90±14.19	245.11±20.55	15.42±0.33
Late cultivar	89.55±1.94	156.95±16.30	272.53±33.29	16.11±0.56
	98.94±2.32	165.80±16.08	271.97±24.90	16.30±0.33
Total	70.31±2.00	128.91±9.96	176.49±17.67	14.27±0.51
	76.61±2.00	153.80±13.23	228.17±19.63	15.76±0.35
Vegetable-type soybean				
Early cultivar	30.98±1.44	32.48±2.55	64.70±6.35	19.53±1.03
	29.24±1.54	24.59±2.02	51.26±4.60	20.63±0.92
Medium cultivar	64.44±1.89	70.78±4.72	133.67±10.50	19.82±0.53
	69.06±2.03	58.76±4.54	121.41±10.49	20.51±0.57
Late cultivar	99.04±2.75	99.60±13.56	283.82±38.48	27.96±0.75
	100.35±2.78	109.30±6.99	290.51±22.89	26.92±0.76
Total cultivar	51.71±1.74	55.58±4.28	112.08±10.32	20.17±0.76
	53.33±1.86	46.66±3.57	100.41±8.62	20.94±0.74

Upper and lower (in bold) numerals indicate agronomic characteristics values in 1994 and 1995, respectively.

Mean ± S.E.: Numerals indicate mean ± standard error.

Table 1-4. Correlation coefficients between agronomic characteristics in 1994 and 1995.

Cultivar	DF	Plant height	Number of pods plant ⁻¹	Weight of pods plant ⁻¹	Weight of 10-pods
Total	62	0.960***	0.889***	0.805***	0.922***
Grain-type soybean	28	0.927***	0.819***	0.736***	0.919***
Vegetable-type soybean	32	0.964***	0.812***	0.856***	0.882***

***: Significant at the 0.001 probability level.

Table 1-5. Varietal differences in concentrations of water-soluble nitrogen and total sugar in 1994 and 1995.

Grain-type soybean

Number and cultivar	Concentration of			
	water-soluble N (mg/g-D.W.)		total sugar (mg/g-D.W.)	
	1994	1995	1994	1995
Early cultivar				
1. Toyosuzu	5.63	5.43	51.88	26.58
2. Tohoku 70	7.78	6.92	59.04	30.95
3. Kitamusume	6.87	7.04	55.19	51.86
4. Isuzu	6.87	7.02	54.83	29.49
Group mean	6.97	6.60	55.24	34.72
Medium cultivar				
5. Hime-yutaka	9.46	6.99	64.06	54.80
6. Karikati	8.45	8.79	69.40	73.14
7. Yu-zuru	6.87	7.09	51.21	37.85
8. Wase-shirome	6.94	8.45	52.35	68.59
9. Shirosaya 1	6.18	8.67	61.45	32.04
10. Higo-musume	8.77	11.19	63.26	49.86
11. Shin 3	5.90	6.50	65.27	44.01
12. Kogane-daizu	5.78	7.83	58.04	47.49
13. Hanayome-ibaraki	6.84	7.16	69.49	50.40
14. Norin 2	8.47	6.05	79.88	48.74
15. Raikou	5.53	5.11	50.41	44.22
16. Fusanari	6.59	5.98	56.83	28.58
17. Shinano-shirome	7.90	5.90	82.14	47.31
18. Miyagi-shirome	6.27	7.48	68.18	70.00
19. Aze-minori	6.03	6.08	48.80	27.85
20. Yagi 1	8.23	6.13	101.22	51.13
21. Iwate 1	6.89	7.31	38.76	40.15
22. Suzuyutaka	5.26	5.39	49.20	49.49
23. Enrei	8.20	8.18	89.17	62.13
24. Iyo-daizu	5.93	5.83	42.76	32.04
25. Akita-ani	5.76	5.43	51.01	40.76
26. Oodate 1	6.25	5.48	47.60	35.39
Group mean	6.93	6.96	61.84	47.09
Late cultivar				
27. Akiyoshi	5.36	7.51	53.02	69.07
28. Shin 4	5.66	7.06	48.10	56.65
29. Fukuyutaka	6.94	9.88	73.03	70.22
30. Tamahikari	6.82	7.58	91.58	71.86
Group mean	6.20	8.01	66.43	66.95
Total				
Mean	6.81	7.05	66.57	48.09

Table 1-5. Continued.
Vegetable-type soybean

Number and cultivar	Concentration of			
	water-soluble N (mg/g-D.W.)		total sugar (mg/g-D.W.)	
	1994	1995	1994	1995
Early cultivar				
31. Sakamoto-wase	15.19	10.77	72.90	63.68
32. Ezonishiki	11.09	10.42	79.53	89.86
33. Siroge-green	15.78	13.24	91.98	62.22
34. Sapporo-midori	16.67	11.61	111.06	91.32
35. Okuhara-wase 1	11.83	11.26	85.03	97.68
36. Tasty 85	10.45	10.23	84.86	101.50
37. Shinsetu-midori	14.00	13.73	93.38	90.72
38. Okuhara-wase	10.47	9.34	73.66	59.37
39. Hokkou-midori 2	13.73	13.19	97.20	109.68
40. Ezomidori	12.18	13.04	61.59	60.95
41. Sayakaze	10.60	13.09	71.70	107.33
42. Iwahime	11.66	13.31	103.43	109.14
43. Wase-dadacha (togashi)	10.28	13.19	91.18	112.23
44. Wase-midori	10.97	10.60	76.52	42.17
45. Hakuchou	9.63	8.92	56.08	49.86
Group mean	12.30	11.73	83.34	83.18
Medium cultivar				
46. Nakate-kurakake	8.05	6.55	49.86	36.30
47. Kuro-teppou (wase)	14.84	14.85	109.86	112.07
48. Chuusei-hikarikuro	12.42	11.44	97.64	112.37
49. Mikawasima	10.00	8.72	63.66	76.22
50. Tsurunoko	7.31	7.51	62.26	53.13
51. Iwate-zairai 1	10.32	12.13	72.10	88.95
52. Shounai 1	9.78	10.57	80.41	90.70
53. Shounai 2	10.18	10.67	82.74	78.77
54. Wase-dadacha	11.26	10.79	128.94	97.68
55. Wase-shirayama-dadacha	12.87	11.16	132.55	120.77
56. Aohira	6.13	6.52	70.49	62.04
57. Shirayama-dadacha	11.07	13.76	133.16	116.41
58. Shounai 3	12.23	14.77	140.19	126.45
59. Shounai 5	14.08	11.07	151.03	121.14
60. Murasaki-dadacha	10.70	12.40	131.55	108.41
61. Tonoshima-dadacha	6.72	11.12	55.03	76.40
62. Okute-dadacha	9.58	8.40	102.80	74.22
Group mean	10.44	10.73	97.90	91.30
Late cultivar				
63. Higan-ao	7.85	9.98	88.17	85.68
64. Hitori-musume	6.25	7.39	54.30	68.40
Group mean	7.05	8.68	71.23	77.04
Total cultivar				
Mean	11.06	11.05	89.91	86.88

Table 1-6. Variance analysis in concentrations of water-soluble nitrogen and total sugar in grain-type and vegetable-type soybeans.

Source	DF	Concentration of	
		water-soluble N	total sugar
Mean square			
Total cultivar			
Year	1	0.368	2016.100***
Cultivar	63	14.771***	1336.270***
Error	63	1.558	152.504
Grain-type cultivar			
Year	1	0.904	2730.740***
Cultivar	29	2.197*	322.016**
Error	29	0.994	119.612
Vegetable-type cultivar			
Year	1	0.003	156.130
Cultivar	33	9.786***	1180.550***
Error	33	2.084	159.696

*, ** and ***: Significant at the 0.05, 0.01 and 0.001 probability level, respectively.

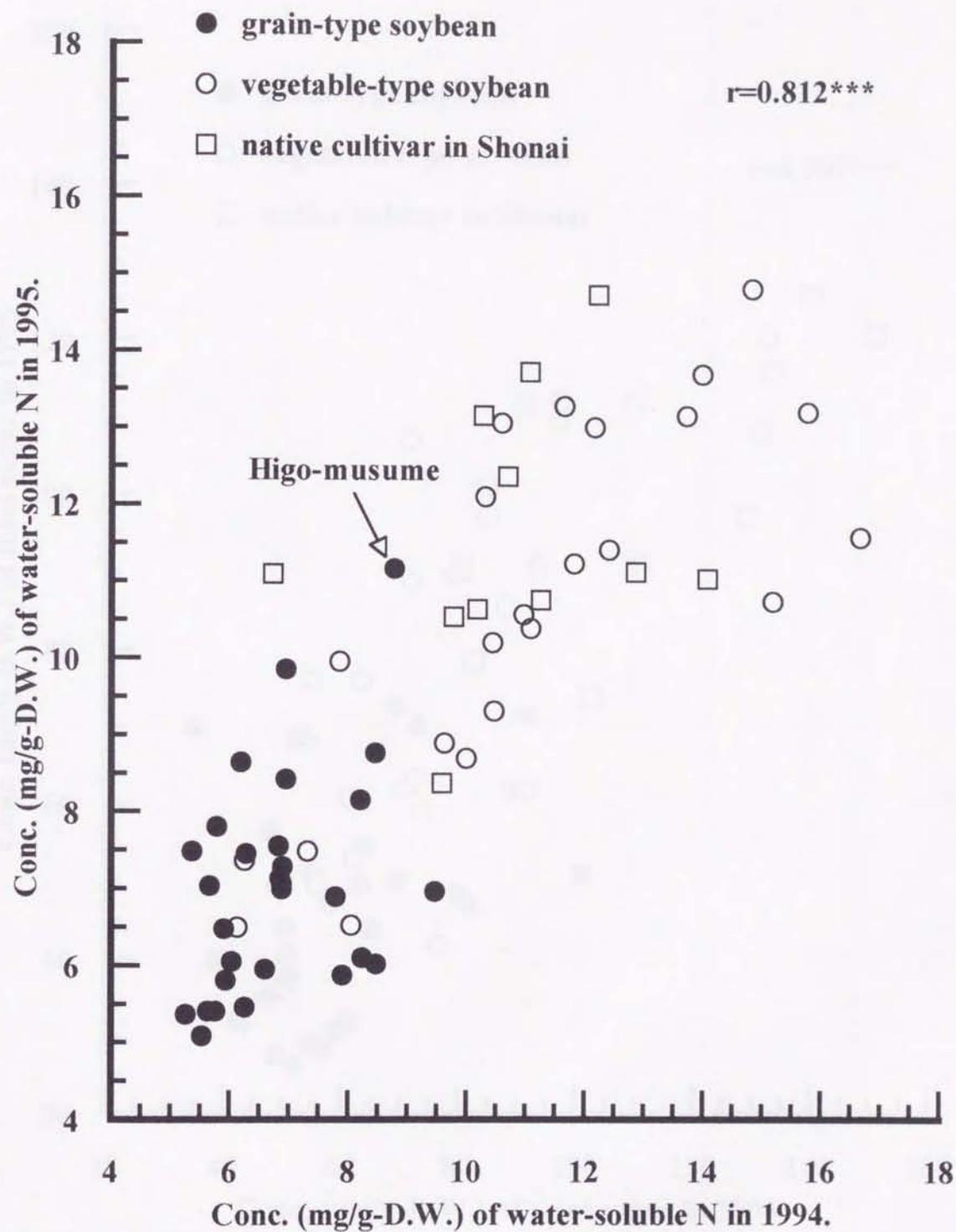


Fig. 1-1. Relationship of concentrations of water-soluble nitrogen in 1994 and those in 1995.

*****: Significant at the 0.001 probability level.**

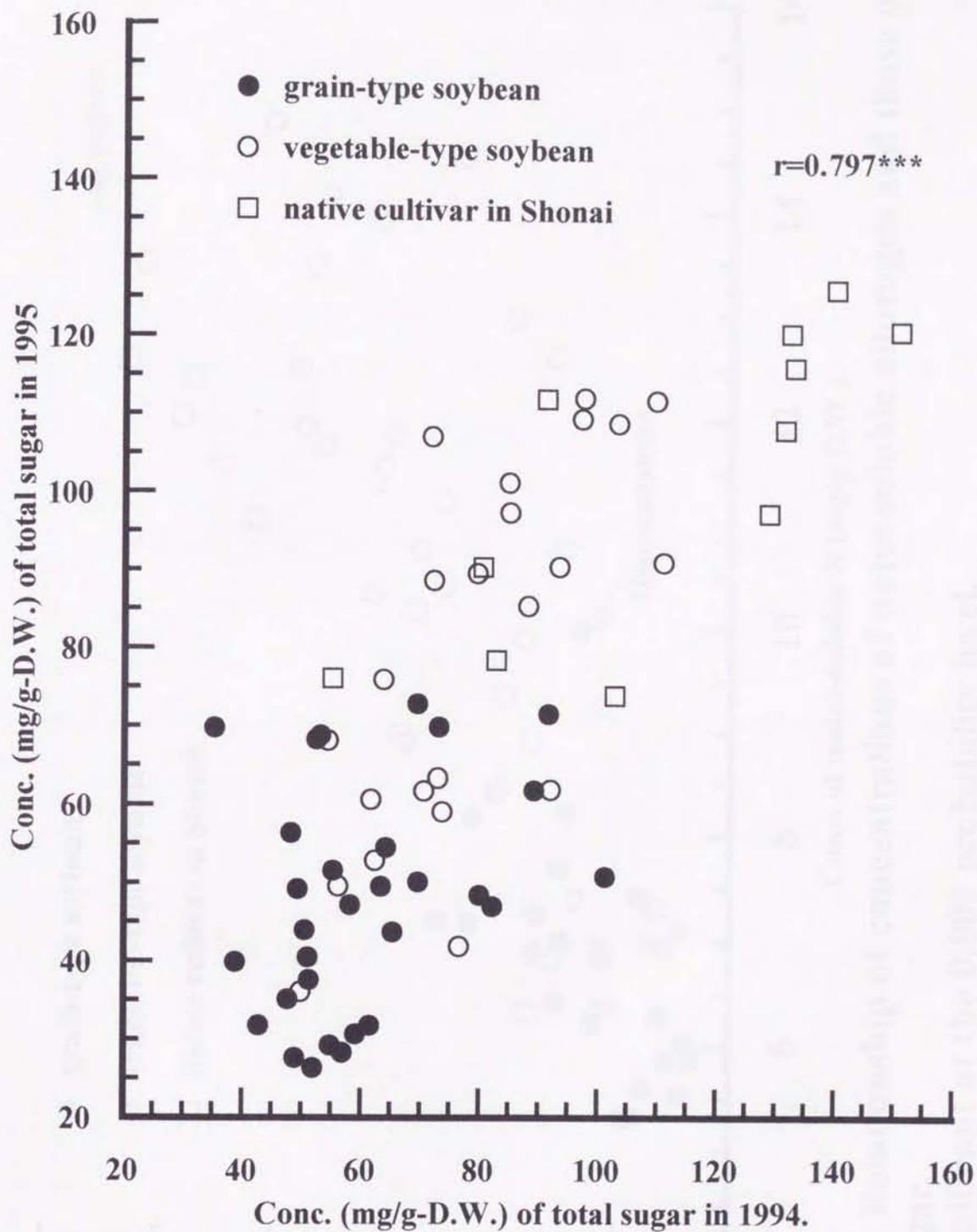


Fig. 1-2. Relationship of concentrations of total sugar in 1994 and those in 1995.

*****: Significant at the 0.001 probability level.**

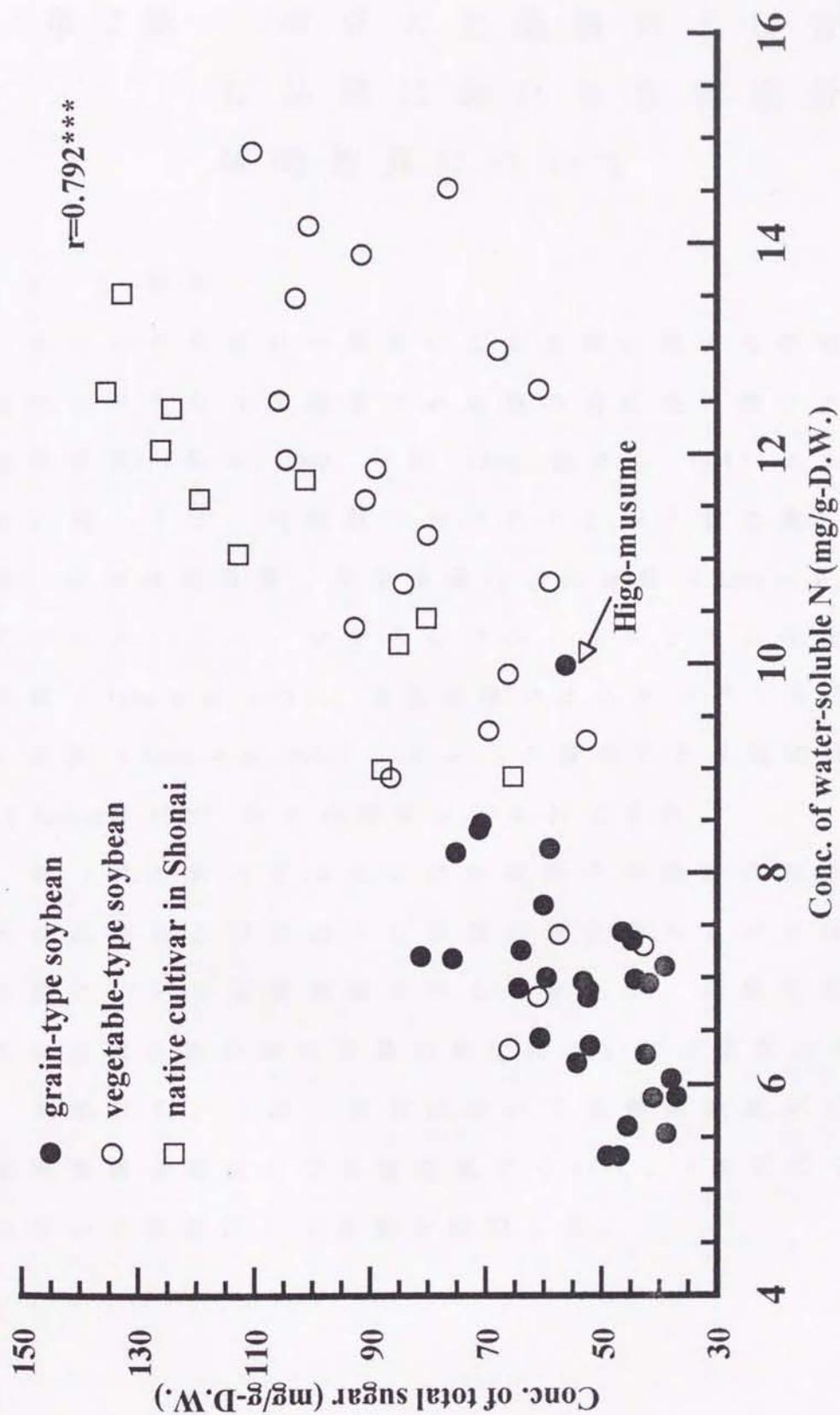


Fig. 1-3. Relationship of concentrations of water-soluble nitrogen and those of total sugar.

***: Significant at the 0.001 probability level.

第 2 章 枝豆大豆品種および普通大豆品種における含有成分の地域間差異について

2-1 緒言

大豆の含有成分の環境による変動に関する研究は、早晚性にともなう各地域での品種の適応性に関する生理生態的研究（松本 1942; 永田 1949; 福井ら 1951）がある。成分に関しては、完熟種子におけるタンパク質含量、脂質含量、炭水化物含量、灰分含量などの差異（Taira et al., 1971）、カリウム、リン、マグネシウム、カルシウム含量などの差異（Taira et al., 1972）、電気泳動によるタンパク質成分構成の差異（Taira et al., 1972）、タンパク質のアミノ酸構成の差異（Taira et al., 1973）などの研究が行われてきた。

第 1 章においては大豆の未成熟子実段階における枝豆大豆品種および普通大豆品種の糖含量および水溶性窒素含量について品質評価を行ってきたが、環境変動における未成熟子実の成分含量の変化についての研究は少ない。

本章においては、前章において品種間差異を示した水溶性窒素含量および全糖含量について、4 地区にて 8 品種を用いて環境による変動を検討した。

2-2 材料および方法

供試品種および栽培条件

1996年に、枝豆大豆品種のサッポロミドリ、早生ダダチャ、中生光黒、白山ダダチャの4品種、普通大豆品種の東北70号、夕鶴、ヒゴムスメ、秋田兄の4品種、計8品種を用いた。栽培地は、岩手県滝沢村（柳川採種研究会盛岡農場）、秋田県農業試験場（秋田市）、山形大学農学部附属農場（鶴岡市）、福島県果樹試験場（福島市）の4地区を選定した。栽培地域の北緯、東経および土壌条件や栽培条件についてTable 2-1に示した。施肥量については、各地域の慣行栽培によって行ったが、秋田については、窒素成分で2.5Kg/10aと各地域に比べて少なくなっている。これは前作にネギを栽培した際に、窒素成分で20Kg/10a施しているため、本実験では窒素成分を抑えて栽培した。

各栽培地においては、各品種とも3反復乱塊法によって栽培し、1区当たりの面積は3m×3m、畝幅は、70cm～80cmとし、株間は、草丈により10cm～30cmに変えた。

種子は、育苗用ポットに播種し、初生葉展開後に各栽培地に移植した。サンプルは、枝豆として収穫適期に収穫後、輸送上の都合により5℃により一昼夜保存した。その後の未成熟子実の処理については、第1章と同様に行った。

気象条件

4地域の定植から70%開花まで、70%開花から枝豆としての収穫までおよび枝豆としての収穫10日前の日平均

気温、最高気温、最低気温、気温の日較差を4地区ごとに Table 2-2 に示した。

定植から70%開花までの気温については、秋田、山形において平均気温で差がなく、最高気温では山形、岩手で有意差がなく、秋田で低く、福島で高い気温を示した。最低気温については、岩手が低く山形、福島、秋田の順で高くなった。気温の日較差については、秋田、山形、福島、岩手の順で高い値を示した。

70%開花から枝豆として収穫までの気温については、平均気温、最低気温については、岩手において低く、秋田、山形、福島において差がみられなかった。最高気温については、各地域とも差がみられなかった。気温の日較差については、秋田が低く、岩手が高い値を示し、山形、福島では差がみられなかった。

枝豆として収穫する10日前の気温については、平均気温と最低気温は、70%開花から枝豆として収穫までと同様に、岩手が低く、秋田、山形、福島においては差がみられなかった。最高気温については、岩手と秋田および山形と福島において、それぞれ差がみられず、岩手、秋田に比べて、山形、福島では高い気温を示した。気温の日較差については、70%開花から枝豆として収穫までと同様に、岩手が高く、秋田が低い気温を示し、山形、福島において差はみられなかった。すなわち、4地域の気象条件については、70%開花するまでの初期条件の段階で、山形の気候に比べると、福島が高く、秋田、岩手の順で低い気象条件であった。また、枝豆として収穫する10日前

において、最高気温が山形、福島で 30.1℃と高く、岩手、秋田では 26.5～27.1℃と低い値を示した。最低気温については、山形、福島および秋田に差がみらず、岩手が低い値を示した。

分析方法

水溶性窒素含量については、4地区における8品種について、各品種ごと3反復で第1章の方法に準じて分析した。

全糖含量については、4地区において枝豆大豆品種のサッポロミドリ、白山ダダチャ、普通大豆品種の東北70号、秋田兄について、第1章と同じ方法によって分析を行った。

2-3 結果

Table 2-3 に、各地域における 8 品種の開花日（植物体において 70% 開花が認められ日）および収穫日（枝豆適期に未成熟莢を収穫した日）について示した。山形、福島については、開花日、収穫日とも大きな差異はみられなかった。次いで、秋田、岩手の順で開花日、収穫日とも遅れた。Table 2-4 に、各地域における定植日から開花日までの日数および開花日から枝豆としての収穫日までの日数を示した。開花日から収穫日までの枝豆大豆品種群については、4 地域とも約 30～40 日であったが、普通大豆品種については、約 30～60 日と差異がみられた。

Table 2-5 に、4 地域における農業形質（草丈、1 個体当たりの着莢数、1 個体当たりの未成熟莢の重量、10 莢当たりの重量）を示した。福島では、草丈以外の 3 形質が、地域間で低い値を示した。Table 2-6 で農業形質についての分散分析の結果を示した。品種間での平均平方和が、地域間での平均平方和に比べて高く、農業形質については、各品種の遺伝的要因が高いことが考えられる。

Table 2-7 に、各地域での 8 品種の水溶性窒素含量の変化を示した。さらに、Fig. 2-1 では、開花日から収穫日までの気温の日較差と水溶性窒素含量との関係を示した。山形、福島では、約 10～13mg/g-D.W. であるのに対し、岩手、秋田については、約 6.0～10mg/g-D.W. であり、山形、福島と比較して、岩手、秋田の水溶性窒素含量が少ない傾向がみられた。普通大豆品種については、山形、福島では、約 5.6～13.0mg/g-D.W. であるのに対し、岩手、秋田では、約 4.8～

9.4mg/g-D.W.と少ない傾向がみられたが、各地域において枝豆大豆品種に比較して大きな差異はみられなかった。すなわち、山形、福島において、枝豆大豆品種群と普通大豆品種群との品種群間差異が大きくなった。その要因として、Fig. 2-1で示したように、気温の日較差が9～10℃の山形、福島で枝豆大豆品種群の水溶性窒素含量が、高まると考えられる。普通大豆品種のヒゴムスメについては、第1章において枝豆大豆品種と同様の値を示したが、4地区において普通大豆品種群中で高い値を示し、さらに福島、岩手では、枝豆大豆品種と同等の値を示した。

Table 2-8では、各地域での4品種の全糖含量の変化を示した。全糖含量は、各地域とも普通大豆品種に比べて、枝豆大豆品種が高くなる傾向がみられた。しかし、岩手のサッポロミドリは30.33mg/g-D.W.で、普通大豆品種の秋田兄(64.04mg/g-D.W.)と比較して低い値を示した。しかし、白山ダダチャについては、山形と同様の値を示した。また、福島の枝豆大豆品種については、約67～80mg/g-D.W.で、山形の枝豆大豆品種は、約103～140mg/g-D.W.であり、秋田約60～70mg/g-D.W.と同様の値を示した。Fig. 2-2に、開花日から収穫日までの気温の日較差と全糖含量との関係を示した。水溶性窒素含量とは異なり、気温の日較差が9～10℃で全糖含量が高まるのは山形のみで、気温の日較差の高い福島は、気温の日較差の低い秋田と同様の値を示した。

Table 2-9に、水溶性窒素含量および全糖含量について、地区と品種についての分散分析の結果を示した。水溶性窒素含量については品種、地区、相互作用とも全体、普

通大豆品種群では有意差がみられた。しかし、枝豆大豆品種群では、品種間で有意差がみられず、地区に関して高い有意差がみられ、環境による変動が高いことが示唆された。糖含量については、全体、枝豆大豆品種群、普通大豆品種群で品種による平均平方和が、地区による変動に比べて高く、遺伝的要因が高いことが示された。

2-4 考察

大豆の未成熟子実を食用とする枝豆の成分に関する地域間較差についての研究は少ない。普通大豆の完熟種子における成分（タンパク質、脂質、炭水化物、灰分）の変動についての報告は、平ら（1971）によって行われている。各成分の変動については、灰分が小さく、脂質が大きいことが示されている。また、タンパク質のアミノ酸組成については、タンパク質含量と含硫アミノ酸の相関が栽培地によって異なることが指摘されている。

第1章では、同一地域（山形県鶴岡市）での8品種の水溶性窒素含量および4品種の全糖含量は枝豆大豆品種群および普通大豆品種群との間に差が見られた（Table 1-5）。水溶性窒素含量については秋田、岩手で2つの品種群の差が小さくなり、他の地域との間で差がみられた。この減少の原因として、70%開花から枝豆として収穫までの気温および収穫10日前（莢決定期から枝豆として収穫される登熟前期の期間）の気温を指標として、各平均気温と成分含量について検討した。その結果、枝豆として収穫10日前の最高気温が高く、気温の日較差が9～10℃の山形、福島で、特に水溶性窒素含量の変動が大きいことが示された。気温の日較差は、同化産物およびアミノ酸の茎、葉における呼吸による消耗に関与し、両成分の種子への蓄積速度に影響し、成分の変動がおこったものと推察される。

全糖含量は、水溶性窒素とは異なり、福島において山形と同様の値を示さなかった。糖の種子への集積に関す

る環境要因は、今後の研究課題である。

また、普通大豆品種のヒゴムスメは、岩手、福島で水溶性窒素含量の値が、枝豆大豆品種と同様の値を示した。また、秋田兄は、全糖含量の値が、岩手枝豆大豆品種と同様の値を示した。このことは、ヒゴムスメ、秋田兄が、環境変動を受けやすい品種として、重要な遺伝資源となると推察される。

2 - 5 摘要

1996年、枝豆4品種、普通大豆4品種を、岩手県、秋田県、山形県、福島県の4地区に栽培し、水溶性窒素含量および全糖含量の地域間差異を検討した。栽培地域間で最高気温および最低気温に差がみられ、結果として気温の日較差に差異がみられた。70%開花から枝豆として収穫までの気温の日較差について水溶性窒素含量および糖含量を比較した結果、4地区とも普通大豆品種群と枝豆大豆品種群の間で差異がみられた。特に気温の日較差が9~10℃の福島、山形において枝豆大豆品種群と普通大豆品種群との差が明確となった。また、ヒゴムスメについては、各地域とも普通大豆品種群の中で高く、岩手、福島については、枝豆大豆品種と同様の値を示した。気温の日較差は、同化産物およびアミノ酸の茎葉から種子への転流速度に関与し、また、種子中でのタンパク質合成速度にも影響することが推察される。また、全糖含量に関しては、水溶性窒素含量とは異なり、福島は、枝豆大豆品種において山形と同様の値を示さず、秋田と同様の値を示した。糖の種子への集積に関する環境要因については、地域および年次間変動を含めて今後より詳細に研究する必要がある。

Table 2-1. Cultural practices in the four locations for 8 soybean cultivars in 1996.

	Iwate	Akita	Yamagata	Fukushima
Latitude	39 ° 47'	39 ° 40'	38 ° 41'	37 ° 45'
Longitude	141 ° 01'	140 ° 07'	139 ° 49'	140 ° 28'
Soil type	Andosols	Brown low- land soils	Grey soils	Brown forest soils
Seeding date	14 May	14 May	11 May	13 May
Transplanting day	28 May	29 May	24 May	27 May
Amount of supplied fertilizer (Kg/10a)				
N	6.4	2.5	6.0	5.6
P ₂ O ₅	13.0	7.5	18.0	5.6
K ₂ O	9.6	7.5	24.0	5.6

Soil types were classified according to "Classification of cultivated soils in Japan" published by The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan. (1983)

Table 2-2. Temperature differences in the four cultivation areas.

(°C)

	Iwate	Akita	Yamagata	Fukushima
Period: From transplanting to 70% flowering				
Average	18.74	19.47a	19.26a	20.40
Maximum	24.24a	23.33	24.00a	25.48
Minimum	13.25	16.09	15.08	15.72
Dairy difference	10.99	7.25	8.91	9.76
Period: From 70% flowering to harvesting as edamame				
Average	22.01	23.73a	23.78a	24.06a
Maximum	27.25a	27.45a	28.73a	28.93a
Minimum	16.89	20.34a	19.45a	19.94a
Dairy differences	10.36	7.11	9.28a	8.99a
Period: 10 days before harvesting as edamame				
Average	20.72	23.35a	24.66a	24.57a
Maximum	26.48a	27.06a	30.14b	30.12b
Minimum	15.10	19.82a	19.85a	20.09a
Dairy Differences	11.38a	7.25	10.29a	10.03a

Values with different superscripts are significantly different (Duncan's multiple range test, $P < 0.05$).

Table 2-3. Dates of 70% flowering and harvesting as edamame in the four cultivation areas.

Cultivar	Iwate	Akita	Yamagata	Fukusima
Vegetable-type soybean				
Sapporo-midori	12 July	2 July	23 June	26 June
	20 Aug.	5 Aug.	30 July	2 Aug.
Wase-dadacha	16 July	4 July	1 July	2 July
	20 Aug.	5 Aug.	31 July	2 Aug.
Chusei-hikarikuro	19 July	11 July	7 July	8 July
	27 Aug.	19 Aug.	13 Aug.	12 Aug.
Shirayama-dadacha	8 Aug.	26 July	23 July	22 July
	17 Sept.	2 Sept.	21 Aug.	22 Aug.
Grain-type soybean				
Tohoku 70	17 July	3 July	26 June	26 June
	27 Aug.	19 Aug.	7 Aug.	12 Aug.
Higo-musume	8 Aug.	27 July	23 July	19 July
	17 Sept.	2 Sept.	20 Aug.	22 Aug.
Yu-zuru	19 July	12 July	5 July	9 July
	17 Sept.	2 Sept.	21 Aug.	22 Aug.
Akita-ani	20 Aug.	1 Aug.	28 July	28 July
	1 Oct.	24 Sept.	9 Sept.	13 Sept.

Upper and lower (in bold) dates indicate those of 70% flowering and harvesting as edamame, respectively.

Table 2-4. Days of 70% flowering and harvesting as edamame in the four cultivation areas.

Cultivars	Iwate	Akita	Yamagata	Fukushima
Vegetable-type soybean				
Sapporo-midori	45	35	30	30
	39	34	37	37
Wase-dadacha	49	37	38	36
	35	32	30	31
Chusei-hikarikuro	52	44	44	42
	39	39	37	35
Shirayama-dadacha	72	59	60	56
	40	38	29	34
Grain-type soybean				
Tohoku 70	50	36	33	30
	41	47	42	47
Higo-musume	72	60	60	53
	40	37	28	35
Yu-zuru	52	45	42	43
	60	52	47	44
Akita-ani	84	65	65	62
	42	54	43	47

Upper and lower (in bold) numerals indicate those of days from transplanting to 70% flowering and days from 70% flowering to harvesting as edamame , respectively.

Table 2-5. Differences in agronomic characteristics in the four cultivation areas.

	Iwate	Akita	Yamagata	Fukushima
Plant height (cm)				
Total Cultivars	54.68±1.62	55.40±3.16	50.13±1.41	46.49±2.58
Vegetable-type soybean	47.49±1.87	47.89±2.42	47.05±1.65	44.48±1.93
Grain-type soybean	61.88±1.38	62.90±3.90	53.22±1.16	49.40±3.24
Number of pods (/plant)				
Total Cultivars	76.29±4.96	86.60±6.82	87.43±11.11	58.96±9.07
Vegetable-type soybean	41.14±3.48	37.92±4.29	49.89±6.82	39.42±4.19
Grain-type soybean	111.45±6.43	135.28±9.35	124.97±15.39	78.50±13.96
Weight of pods (g/plant)				
Total Cultivars	138.02±9.98	147.73±14.73	135.55±20.63	97.29±18.39
Vegetable-type soybean	90.75±8.75	83.56±12.74	98.80±14.64	69.77±9.14
Grain-type soybean	185.29±11.22	211.90±16.73	172.30±26.62	124.81±27.64
Weight of pods (g/10-pods)				
Total Cultivars	20.23±0.71	19.46±0.63	18.44±0.86	17.05±1.04
Vegetable-type soybean	21.78±0.83	21.40±0.90	20.50±0.98	17.58±1.13
Grain-type soybean	18.68±0.60	17.53±0.35	16.38±0.75	16.53±0.95

Mean ± S.E.: Numerals indicate mean ± standard error.

Table 2-6. Variance analysis for agronomic characteristics.

Source	DF	Plant height (cm)	Number of pods plant ⁻¹	Weight of pods plant ⁻¹	Weight of 10-pods
Mean square ($\times 10^3$)					
Total cultivar					
Cultivar (A)	7	246.80***	3450.71***	6117.79***	17.09***
Area (B)	3	8.40*	126.36*	354.67*	1.36*
A×B	21	30.39***	429.58***	885.30***	2.63***
Error	64	14.62	219.53	771.07	1.72

***, *: Significant at the 0.001 and 0.05 probability level, respectively.

Table 2-7. Differences in concentrations of water-soluble nitrogen in the four cultivation areas. (mg/g-D.W.)

Cultivar	Iwata	Akita	Yamagata	Fukushima
Vegetable-type soybean				
Sapporo-midori	7.33±0.60	6.40±0.30	13.23±0.31	13.03±0.38
Wase-dadacha	9.31±0.29	6.71±0.31	11.18±0.20	11.51±0.22
Chusei-hikarikuro	6.69±0.58	7.65±0.14	12.17±0.66	12.36±1.34
Shirayama-dadacha	10.24±0.59	7.88±0.55	10.18±0.49	13.04±0.39
Group mean	8.39	7.16	11.69	12.49
Grain-type soybean				
Tohoku 70	5.19±0.23	5.06±0.25	5.60±0.06	6.87±0.31
Higo-musume	9.39±0.39	6.00±0.14	9.04±0.81	13.26±1.60
Yu-zuru	6.56±0.24	5.89±0.27	7.26±0.24	8.51±0.05
Akita-ani	5.86±0.15	4.84±0.32	6.09±0.17	7.35±0.18
Group mean	6.75	5.45	7.00	9.00

Mean ± S.E.: Numerals indicate mean ± standard error.

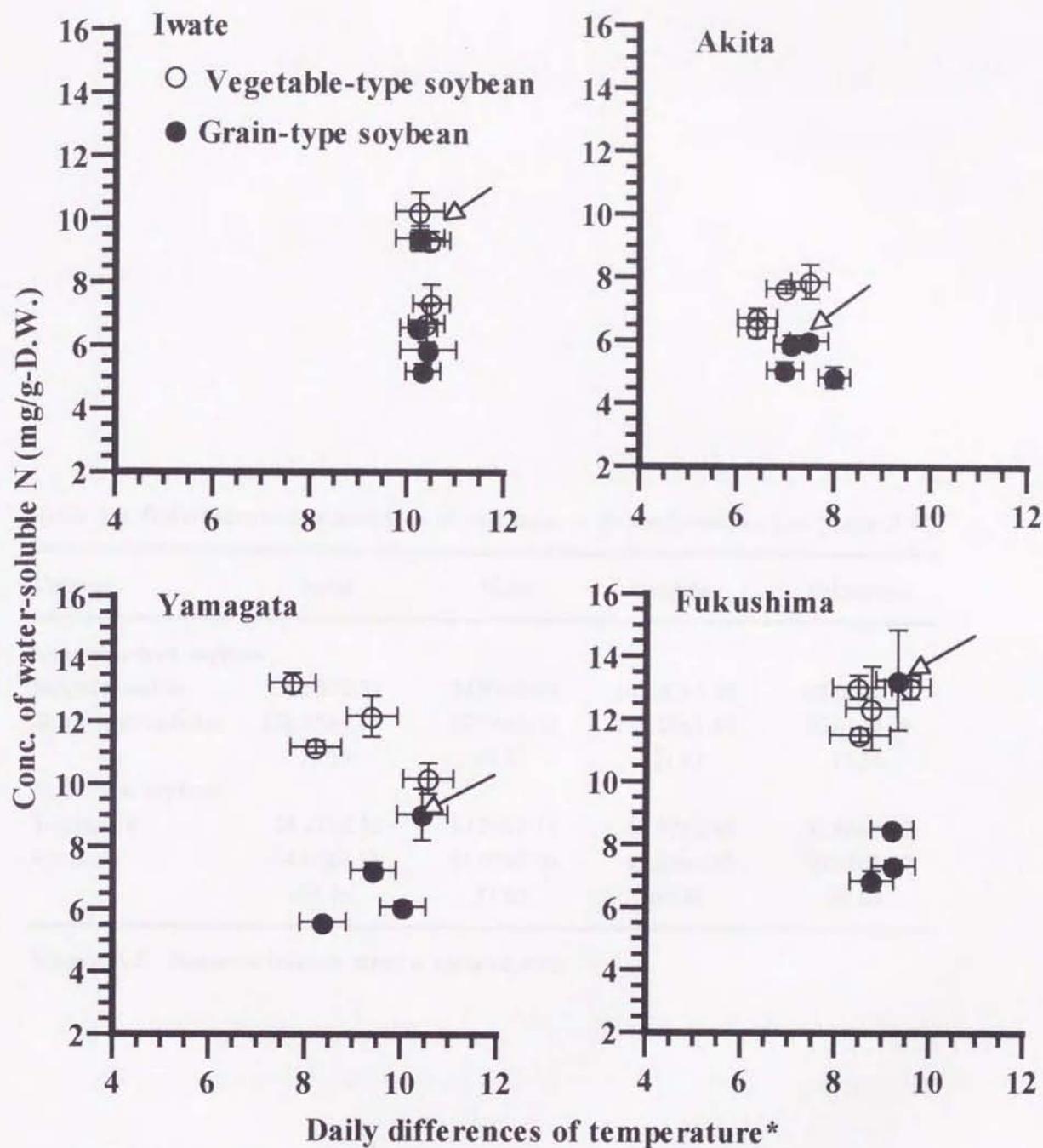


Fig. 2-1. Scatter diagram of daily differences of temperature during flowering to harvesting as edamame and concentrations of water-soluble nitrogen.

Symbols with an arrow indicate a grain-type cultivar, Higo-musume.

*: Average daily temperature differences during ripening period of each cultivar which correspond to 70% flowering to harvesting as edamame

Vertical and horizontal bars indicate standard error.

Table 2-8. Differences in concentrations of total sugar in four cultivation areas. (mg/g-D.W.)

Cultivar	Iwata	Akita	Yamagata	Fukushima
Vegetable-type soybean				
Sapporo-midori	30.33±2.77	74.87±8.49	103.02±5.92	67.06±2.91
Shirayama-dadacha	120.85±4.43	60.74±5.78	139.20±1.48	80.01±4.08
	75.59	67.81	121.11	73.54
Grain-type soybean				
Tohoku 70	24.87±2.56	12.25±1.17	53.99±2.46	51.86±1.27
Akita-ani	64.04±4.17	51.05±2.03	43.00±4.91	66.24±3.29
	44.46	31.65	64.32	59.05

Mean ± S.E.: Numerals indicate mean ± standard error.

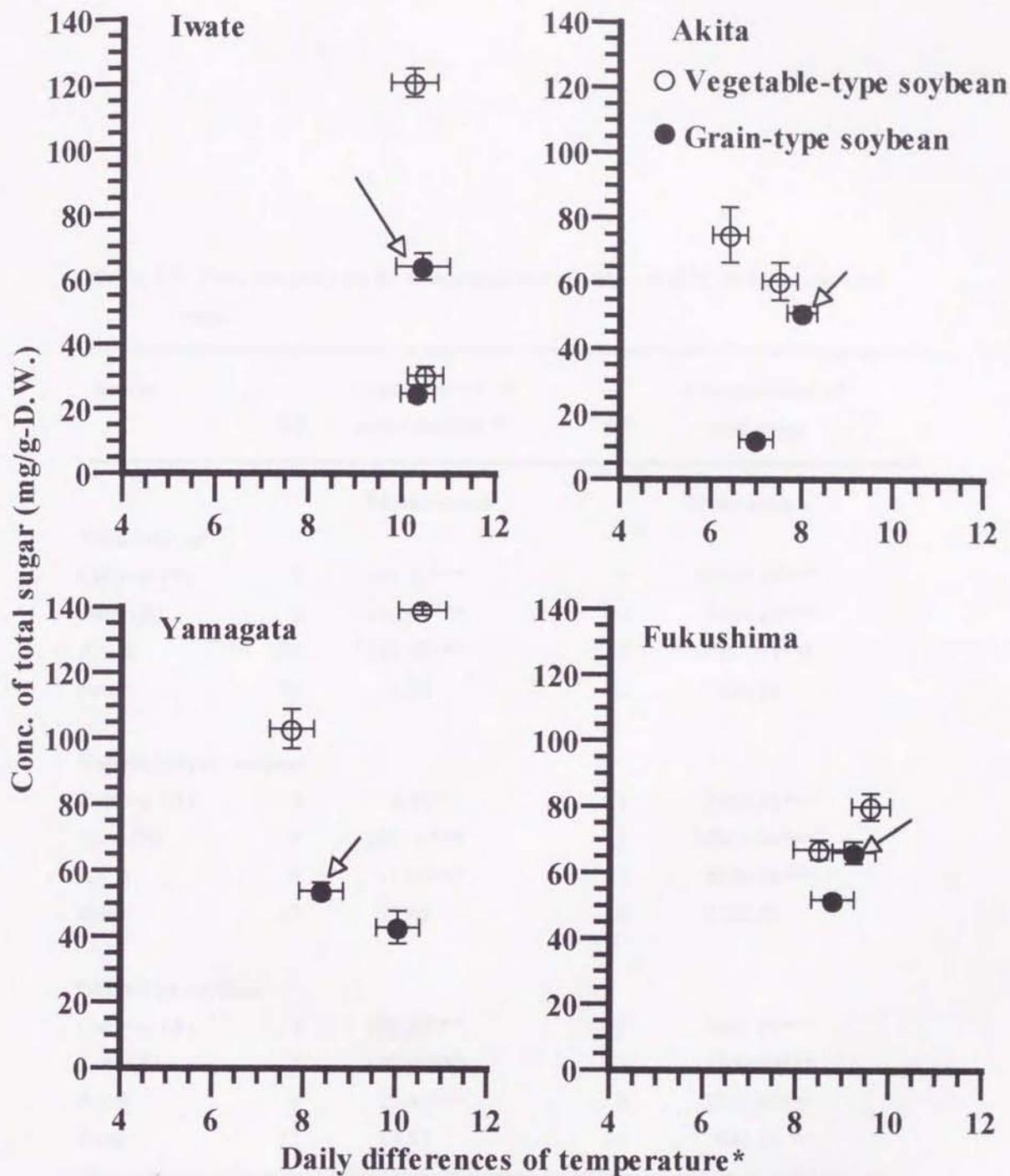


Fig. 2-2. Scatter diagram of daily differences of temperature during flowering to harvesting as edamame and concentrations of total sugar. Symbols with an arrow indicate a grain-type cultivar, Akita-ani.

*: Average daily temperature differences during ripening period of each cultivar which correspond to 70% flowering to harvesting as edamame. Vertical and horizontal bars indicate standard error.

Table 2-9. Variance analysis for concentrations of water-soluble nitrogen and total sugar.

Source	Concentration of water-soluble N		Concentration of total sugar	
	DF	Mean square	DF	Mean square
Total cultivar				
Cultivar (A)	7	301.21***	3	26267.43***
Area (B)	3	282.81***	3	7820.45***
A × B	21	118.88***	9	16865.74***
Error	64	51.35	32	2826.34
Vegetable-type soybean				
Cultivar (A)	3	4.57 ^{n.s.}	1	5906.72***
Area (B)	3	247.11***	3	10912.98***
A × B	9	47.85***	3	8896.38***
Error	32	27.49	16	2182.96
Grain-type soybean				
Cultivar (A)	3	102.53***	1	2481.97***
Area (B)	3	77.69***	3	2309.09***
A × B	9	29.44***	3	2567.80***
Error	32	23.55	16	643.39

***: Significant at the 0.001 probability level.

n.s.: Not significant.