

目次

ホウレンソウ(*Spinacia oleracea*) における硝酸塩・ シュウ酸塩濃度の品種間差異評価およびその要因解析

上西愛子

1-50

第 I 章 緒言	1
第 II 章 ホウレンソウの硝酸塩・シュウ酸塩濃度変動の要因解析	
第 1 節 ホウレンソウ品種の成長率と硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の 季節変動	
1. 緒言	3
2. 材料および方法	3
(1) 供試品種	
(2) 栽培	
(3) 収穫とサンプリング	
(4) 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の測定	
(5) データ解析	
(6) 気象情報の検索	
3. 結果	7
(1) ホウレンソウの生育	
(2) 硝酸塩濃度の季節変動	
(3) シュウ酸塩濃度の季節変動	
(4) 相対収穫日数と硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度との関係	
(5) 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の成長型分析	
4. 考察	11
第 2 節 品種間差異の要因解析	
1. 緒言	14
2. 材料および方法	14
(1) 供試品種	
(2) 栽培方法	
(3) 収穫とサンプリング	
(4) 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の測定	

(5)データ解析	
(6)気象情報の検索	
3.結果	16
(1)ハウレンソウの生育	
(2)栽培日数と硝酸塩・シュウ酸塩濃度との相関関係	
(3)有効積算温度と硝酸塩・シュウ酸塩濃度との相関関係	
(4)積算日射量と硝酸塩濃度・シュウ酸塩濃度との相関関係	
(5)クロロフィル含有量と硝酸塩・シュウ酸塩濃度との相関関係	
(6)葉柄葉身比硝酸塩・シュウ酸塩濃度との相関関係	
(7)硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度との相関関係	
4.考察	19

第 III 章 ホウレンソウの硝酸塩濃度およびシュウ酸塩濃度に及ぼす窒素施用量と灌水量の影響

1.緒言	21
2.材料および方法	21
(1)供試品種	
(2)栽培方法	
(3)試験区の設定	
(4)サンプリング	
(5)硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の定量 2	
(6)データ解析	
3.結果	23
(1)処理区間の分散分析	
(2)品種別の処理区間有意差検定	
4.考察	26

第 IV 章 固定品種特性と硝酸塩・シュウ酸塩濃度

第 1 節 日本で流通している固定品種とその交雑品種における硝酸塩・シュウ酸塩濃度の変動

1. 緒言	28
2. 材料および方法	29
(1)供試品種	
(2)栽培方法	
(3)収穫とサンプリング	
(4)硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の測定	
(5)データ解析	
(6)気象情報の検索	
3. 結果	31

(1)ホウレンソウの生育	
(2)作期ごとの気温と日射の変化	
(3)作期ごとの分散分析	
4. 考察	33
第2節 ホウレンソウ全グループにわたる代表固定品種の硝酸塩・シュウ酸塩濃度	
1. 緒言	35
2. 材料および方法	35
(1)供試品種	
(2)栽培方法	
(3)収穫とサンプリング	
(4)硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の測定	
3. 結果	37
(1)ホウレンソウの生育	
(2)各品種の硝酸塩濃度・シュウ酸塩濃度	
4. 考察	39
第3節 ホウレンソウの集団育種系統とトップクロス系統の硝酸塩・シュウ酸塩濃度	
1. 緒言	40
2. 材料および方法	40
(1)供試品種	
(2)トップクロス系統の作成	
(3)栽培方法	
(4)収穫とサンプリング	
(5)硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の測定	
3. 結果	42
(1)日本在来品種から選抜系統の作成	
(2)トップクロス系統の作成	
(3)選抜系統とトップクロス系統の硝酸塩・シュウ酸塩濃度	
4. 考察	43
第V章 総合考察	44
摘要	46
謝辞	46
引用文献	47

**BULLETIN OF THE
KANAGAWA AGRICULTURAL TECHNOLOGY CENTER**

**No.152
Mar.2010
Contents**

**Varietal difference and environmental factor of the Nitrate and Oxalate Concentration
in Spinach (*Spinacia oleracea*)**

----- A.Kaminishi ----- 1-50

ホウレンソウ(*Spinacia oleracea*) における硝酸塩・ シュウ酸塩濃度の品種間差異評価およびその要因解析

上西 愛子

Varietal difference and environmental factor of the Nitrate and Oxalate Concentration in Spinach (*Spinacia oleracea*)

Aiko Kaminishi

第 I 章 緒言

ホウレンソウ(*Spinacia oleracea* L.)はビタミンとミネラルを豊富に含む最も重要な緑黄色野菜の1つであり(香川, 1997), 生鮮と加工用あわせて2005年には世界中で約827,059 haで1300万トン生産されている。中国が生産の85%以上を占めており, アメリカ(3.2%), 日本(2.3%), トルコ(1.7%)とつづいている。しかしホウレンソウは硝酸塩と比較的多量のシュウ酸塩も含む(Libert and Franceschi, 1987; 香川, 1997; Eliaら1998), これらは風味だけでなく人間の健康にも影響を及ぼすといわれている(山下, 2002)。動物体内に取り込まれた硝酸塩は消化器官で微生物の働きにより亜硝酸塩に還元され, 血管で亜硝酸塩はヘモグロビンの酸化を引き起こし, メトヘモグロビン血症(Gangoli ら, 1994; World Health Organization, 1995; Eliaら, 1998)となり, また, 亜硝酸塩がアミンと結合して発ガン性のニトロソアミンを生成する(Walker, 1990)といわれている。したがって, 硝酸塩の摂取量はできるだけ低いことが望ましく, WHOでは1540 mg/週(1日の許容摂取量として体重1kgあたり3.7 mg)の制限値を設けている(World Health Organization, 1995)。我が国では, 制限値を越える量(推定量2249 mg/週)の硝酸塩が摂取されており, そ

の主たる摂取源は野菜(推定量1969 mg/週)である(孫と米山, 1996)。しかし, 野菜に含まれる硝酸塩の有害性は過大評価されたものであり, 逆に消化管内微生物の殺菌に役立っているという説(リロンデル・リロンデル, 2006)も存在する。

硝酸塩はタンパク合成に不可欠な前駆物質として機能しているものの, 水溶性シュウ酸塩については, 植物生理学的にどのような機能を果たしているのかは十分明らかにされていない(Caliskan, 2000)。Tanakaら(2001)は, ホウレンソウにおける水溶性シュウ酸塩が植物細胞内のイオン強度バランスを一定に保つための機能を果たしている可能性を指摘している。

これに対し, 硝酸塩は, 体内のタンパク質合成系の最上流に位置する不可欠な無機成分として細胞内に一定の割合で存在しており, その過不足が直接的に収量に影響する(Breimer, 1982)。主に土壌中の硝酸態窒素(NO_3^-)は, 植物体内に根から低親和型トランスポーター(*NRT1*)と高親和型トランスポーター(*NRT2*)により吸収される。両トランスポーターとも硝酸塩の存在により発現が誘導される。取り込まれた硝酸は硝酸還元酵素(NR)により還元され亜硝酸になり, 亜硝酸はただちにさらに亜硝酸還元酵素(NiR)によりアンモニアに還元され, 最終的には窒素代謝系に取り込まれていく(榊原と杉山, 1999)。一連のタンパク合成経路のなかで硝酸塩の還元が律速過程であり, 作物体に硝酸還元活性

より多く吸収されれば未還元硝酸塩として集積する。植物は取り込んだ硝酸塩を液胞に貯蔵する。細胞質基質の硝酸イオン濃度が数mMであるのに対し、液胞内は数十から百mMに達する(Kingら, 1992; Zhenら, 1991)。

一般に、ホウレンソウやビート等が属するアカザ科植物は、葉の表面に形成された囊に二次代謝産物として多量の水溶性シュウ酸塩を蓄積することが知られている(Goodin and Mozafar, 1970, 堀江, 2008)。ホウレンソウにおいて主要なシュウ酸生成経路はアスコルビン酸から分解して生成される経路である(米山ら, 1992)。シュウ酸塩は水溶性と不溶性の2つの形態のものがあるが、不溶性の結晶性のシュウ酸塩は、えぐみのもととなったり(Paulら, 1999)、草食性昆虫からの食害を回避する役割をもつ(Korthら, 2006)といわれている。ホウレンソウにおいて、水溶性シュウ酸塩含量は全シュウ酸塩含量の70から90%を占めている(吉川ら, 1988)。シュウ酸塩は動物体内に摂取されるとカルシウム塩と結びつき尿路結石の原因となるといわれ、またカルシウムの吸収を阻害する(Fincke and Sherman, 1935; Libert and Francesielli, 1987; Masseyら, 1993; 香川, 1997)といわれている。

このように、ホウレンソウの硝酸塩とシュウ酸塩の低減化は潜在的な健康被害に対する主な懸念となっている。野菜に蓄積される硝酸塩は土壌中の窒素施肥に由来する(Maynardら, 1976)。窒素施肥量を増やすことにより、作物体の硝酸塩濃度が上昇する(目黒ら, 1991; 建部ら, 1995; 松本ら, 1999; 建部, 1999)。実際、過剰窒素施肥による硝酸塩蓄積を防ぐため、EUヨーロッパ委員会では域内で流通させるホウレンソウの硝酸塩濃度の基準値として2500から3000 mg kg⁻¹ (EU, 2002)と設定している。ヨーロッパ諸国では、ドイツでは参考値として2000 mg kg⁻¹、オランダでは制限値として2500 mg kg⁻¹、スイスでは参考値として3500 mg kg⁻¹、オーストリアでは制限値として7月以降3000 mg kg⁻¹、6月まで2000 mg kg⁻¹、ロシアでは露地で2000 mg kg⁻¹、ハウスで3000 mg kg⁻¹と設定している(孫・米山, 1996; 山下, 2002)。そしてアメリカ、韓国、日本のようなほかの国でもこの問題の重要性は示唆されている(孫と米山, 1996; Muramoto, 1999; 山下, 2002)。北海道では夏どりホウレンソウの硝酸塩の目標値を3000 mg kg⁻¹以

下としている(目黒ら, 1991)。しかしそのような基準はシュウ酸塩では設定されていない。ホウレンソウは世界に400以上の品種が存在しているといわれている(Pandy and Kalloo, 1993)。それらの品種は日長反応性、べと病抵抗性や収量性などの要因に重点をおかれており、硝酸塩濃度やシュウ酸塩濃度に考慮されて育種されてきたわけではない。

そこで本研究では、ホウレンソウという植物種の硝酸塩・シュウ酸塩濃度の本来の値は作期によりどのように変動するのか、および成長率との関係(第II章第1節)、品種間差異の要因解析(第II章第2節)、ホウレンソウの硝酸塩・シュウ酸塩濃度に関する環境に対する影響を調べるため、ホウレンソウの硝酸塩・シュウ酸塩濃度およびに及ぼす窒素施肥量と灌水量の影響(第III章)、品種特性と硝酸塩・シュウ酸塩濃度との関連(第IV章)を調査した結果を報告する。

本研究は農林水産省の「先端技術を利用した農林水産研究高度化事業「野菜における硝酸塩蓄積機構の解明と低減化技術の開発(平成14~16年度)」により実施した。

第II章 ホウレンソウの硝酸塩・ シュウ酸塩濃度変動の要因解析

第1節 ホウレンソウ品種の成長率と 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の季節変動

1. 緒言

ホウレンソウの硝酸塩とシュウ酸塩濃度は生育環境に関して広く研究されており、組織、土壤中の施肥量とバランス、光度、作期と品種によって異なることが示されている(Barker, 1975; Cantliffe, 1972a, c, 1973; Chung ら, 2003; Lorenz, 1978; Muramoto, 1999; Regan ら, 1968). シュウ酸塩濃度に影響する環境要因はまだ良く研究されていないが、硝酸塩濃度については、土壤中の窒素量、投入される窒素形態、土壤有機物の量と質、土壤 pH, 降雨、気温や他の環境要因などに強く影響されることが知られている(Breimer, 1982; Muramoto, 1999).

このように栽培技術によって硝酸塩濃度を低減化しようとする試みはいくつか報告されているが、しかし、ホウレンソウ本来の硝酸塩およびシュウ酸塩濃度の値についてはあまり研究されていない。Muramoto(1999)はアメリカ合衆国におけるホウレンソウの硝酸塩濃度の平均値は2170 mg kg⁻¹ FW で、栽培方法や用いた品種による変動幅は130 から4100 mg kg⁻¹ FW と報告した。イタリアではホウレンソウの硝酸塩濃度の平均値は1845 mg kg⁻¹ FW で、その変動幅は547 から3350 mg kg⁻¹ FW である(Santamaria ら, 1999) という報告がある。韓国ではホウレンソウの硝酸塩濃度の平均値が4259 mg kg⁻¹ FW で、冬の変動幅は427 から7439 mg kg⁻¹ FW で夏の変動幅は195 から7793 mg kg⁻¹ FW である(Chung ら, 2003). 日本において、市販されているホウレンソウの硝酸塩濃度の平均値は3560 mg kg⁻¹ であったという報告がある(辻ら, 1993). 寄藤ら(2005)は日本における市販ホウレンソウの硝酸塩濃度の平均値は3070 mg kg⁻¹ FW で、年間における変動幅は158 から9220 mg kg⁻¹ FW であると報告している。同様に

市販ホウレンソウにおいて硝酸塩濃度の年間における変動幅は470 から8280 ppm(藤原ら, 2005) という報告もある。また、北海道において、夏期のホウレンソウの硝酸塩濃度の平均値は3580 mg kg⁻¹ FW であり、それ以外の作期では3970 mg kg⁻¹ FW であり、変動幅は500 から7500 mg kg⁻¹ FW であったという報告がある(目黒, 1993).

シュウ酸塩濃度に関しては報告事例が少ないが、イタリアにおいてホウレンソウのシュウ酸塩濃度の平均値が5426 mg kg⁻¹ FW で、その変動幅は2309 から10108 mg kg⁻¹ FW であるという報告がある(Santamaria ら, 1999).

これらの研究の値は、品種数やサンプル数が少なく、ホウレンソウという植物種本来の値をカバーしているとは言いがたい。これはほとんどの研究が異なる栽培方法のもと特定の作期において限られた数のホウレンソウ品種を用いたことによることによるようである。

この節の目的は1)ホウレンソウの硝酸塩とシュウ酸塩濃度の品種間差異の季節変動の決定、2)ホウレンソウでの成長率と硝酸塩とシュウ酸塩濃度との関連を説明することである。

2. 材料及び方法

(1) 供試品種

ホウレンソウという種を代表するため、日長への多様な反応を考慮してできた日本で現在利用されている182品種のホウレンソウ品種を集めた。用いた固定品種とF1品種は成長率と種苗会社ごと並列してリストに示している(第1表)。朝日工業(株)1品種、アタリヤ農園(株)2品種、カネコ種苗(株)7品種、協和種苗(株)5品種、コサカ種苗(株)2品種、(株)サカタのタネ26品種、山陽種苗(株)6品種、タカヤマシード(株)14品種、タキイ種苗(株)17品種、トーホク(株)11品種、トキタ種苗(株)9品種、中原採種所(株)6品種、ナント種苗(株)6品種、日東農産(株)9品種、野原採種所(株)1品種、広島市農林振興センター1品種、フジイシード(株)1品種、

第1表 品種, 生育速度^z 及び種子入手先^y

品種	生育速度	種子入手先	品種	生育速度	種子入手先	品種	生育速度	種子入手先	品種	生育速度	種子入手先
F1 交配早生	M	12	グリーンページ	M	7	耐病アクティブ	M	14	プラトン	M	14
TS784	M	19	くろうま	M	13	耐病だいかん	F	12	プリウス	S	20
アーガス 117	S	16	黒葉キューキング	S	13	耐病トップス	F	12	ブレード	F	9
アールフォー	F	16	黒葉キュークイン	F	13	耐病パロマ	M	12	プロセス 23	S	16
アイクル	F	6	黒葉シスターラッド	M	18	耐病ピッカリ	S	12	プロセス 27	S	16
愛知次郎丸	F	17	剣山	M	19	太平大葉	M	17	ペガサス	M	14
アカデミー	M	17	コンチネンタル	M	7	大緑	S	7	ヘラクレス	F	19
アクセス 2号	M	13	コンドル	M	25	たかちゃん	S	12	弁天 2号	F	18
アクティオン	S	14	コンバット	F	20	ダッシュ	M	24	豊葉	M	18
アクティブ	M	14	サザンクロス	S	9	伊達在来	M	28	豊葉(あじ王)	M	2
朝霧	M	22	さっちゃん	S	19	ディンプル	F	14	豊葉(むさし)	M	19
アジア	F	7	サマーガッツ	M	11	東照	S	19	豊葉(まほろば)	M	14
アステア	M	1	サマーボーイ	M	10	ドーバー	M	22	ホークス 203	F	20
アップライト	M	20	サマーワン	S	10	トニック	M	22	北海一番	F	4
アトラス	M	14	サマロン	S	7	トライ	F	18	マース	F	11
アトランタ	M	14	サマンサ	S	21	トレンド	M	12	マイルド	S	8
アドリブ	F	15	サダハチ	M	20	日本	F	14	マグワイア	M	21
アプローチ	M	20	サロニカ	M	6	ニューアジア	F	6	マジック	S	14
アルマイル	S	14	サンパワー	S	4	ニューアンナ R4	M	18	マゼラン	M	18
アンナ	M	18	サンピア	M	4	ニュースター	F	16	マッスル	F	9
イーハトーブ	F	9	サンピアテン	M	4	ニューホープ	M	17	丸粒東海	M	14
インド系 1	M	29	サンライト	S	14	温品	F	27	万葉	F	11
インド系 2	M	29	シーバス	M	10	ノーベル	S	12	ミストラル	M	14
禹城	F	18	シーマ	M	6	バイキング	S	14	みちのく	M	21
禹城大葉	F	17	ジーワン	M	15	バザール 4	M	25	みちのく 2号	F	21
エイトマン	M	11	シェフ	M	21	パスカル	S	9	みっちゃん	S	19
エブリ	M	7	収益	F	7	ハッピーヒル	M	13	ミリオン	M	17
エムディー	S	15	シュマイザー	S	9	パノラマ	S	14	ミレー	S	15
おいしい次郎丸	M	15	春秋一番	M	5	はまいち	F	25	シスターラッド	M	12
オータム	M	19	ジョーカー	M	20	バルカン	M	8	メガトン	M	18
オーライ	M	18	次郎丸	F	18	パルク	S	14	メセナフォー	F	25
おかめ	S	18	次郎丸(たける)	M	19	バルチック	M	22	メリット 86	M	21
おてもやん	S	18	次郎丸大葉	F	17	パレード	M	14	モナリザ	S	17
オラクル	M	14	新仙台	F	22	パレット	M	8	八千草 2号	F	3
オリオン	S	14	新日本	F	18	バンクーバー	S	22	山形赤根	M	23
改良夏一番	S	5	新日本大葉	M	17	晩抽サイクル	S	11	ユーパロ	F	6
改良バイキング	S	17	スーパー	F	8	晩抽ジュリアス	S	16	ラディカル	M	11
神奈川選抜(角)	M	26	スタミナ	S	17	晩抽トルタス	S	4	ラルゴ	M	18
カルチャー	M	17	スパルタ	S	7	晩抽パルク	S	14	リード	F	14
キャニオン	S	9	スプリング	S	19	パンドラ	M	14	力士	S	21
強力オーライ	M	18	スプレnder	M	24	ビーナス 1号	S	25	リバティ	M	7
巨豊	F	24	スペードワン	S	16	ひかり	F	7	ワグナー	S	15
巨豊大葉	F	17	そよかぜ	F	25	ビタレン 85	S	21	若草	F	18
キングオブデンマーク	S	4	ソロモン	M	14	ビリーブ	F	20	若草大葉	F	17
クライム	S	19	タイタン	S	14	ピレネー	M	22			
グリーンピア	F	4	ダイナマイト	M	17	ピロフレ	S	14			

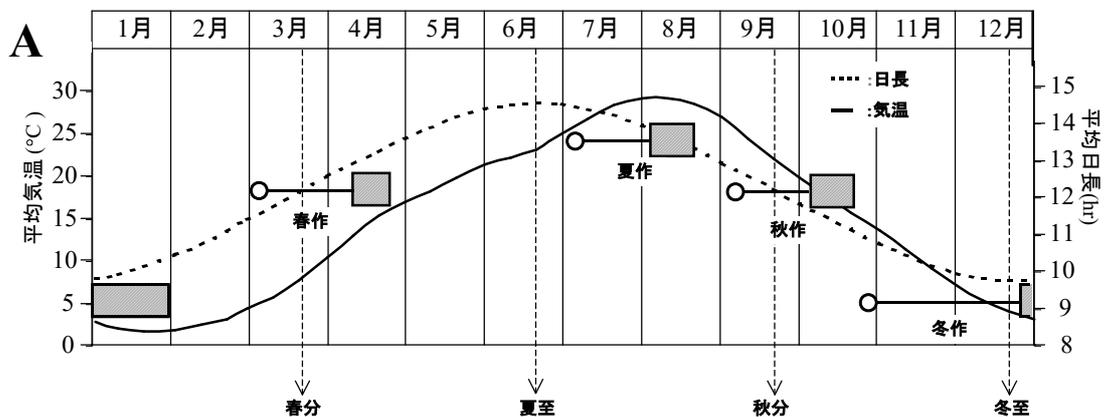
^z 相対収穫日数で分類した早生(F), 中生(M) 及び晩生(S) でそれぞれ, <95, 95~105 および>105. ^y1:朝日工業, 2:アタリヤ, 3:フジイシード, 4:カネコ種苗, 5:コサカ種苗, 6:協和種苗, 7:丸種, 8:モモセ種苗, 9:武蔵野種苗園, 10:中原シード, 11:ナント種苗, 12:日東農産種苗, 13:野原種苗, 14:サカタのタネ, 15:山陽種苗, 16:雪印種苗, 17:タカヤマ種苗, 18:タキイ種苗, 19:トーホク種苗, 20:トキタ種苗, 21:渡辺農事, 22:渡辺採種場, 23:山形県種苗, 24:大和農園, 25:横浜植木, 26:当所育成系統, 27:北海道, 28:広島市, 29:インド

北海道西胆振農業普及センター1品種、丸種(株)11品種、武蔵野種苗園(株)7品種、モモセ種苗(株)4品種、山形県種苗(株)1品種、大和農園(株)3品種、雪印種苗(株)7品種、横浜植木(株)6品種、渡辺採種所(株)7品種、渡辺農事(株)8品種、神奈川県農業技術センター所蔵品種3品種(‘神奈川県選抜系統(角種子)’1品種、外国品種2品種)を供試した。

(2) 栽培

すべてのホウレンソウ品種は神奈川県農業技術センター(緯度35°20'N, 経度139°16'E)でそれぞれ冬至、春分、夏至、秋分が栽培期間に入るもしくは近くなる

ように4作期(冬, 春, 夏および秋)に栽培した(第1図, A). 横浜における年間の平均気温と日長時間も提示した(第1図, A). 冬, 春, 夏および秋作の播種日は, 2002年10月25日, 2003年3月5日, 7月7日, 9月10日であった. 側面の開いたビニールハウス(86.4 m²)3棟で栽培した, それは図1BとCで示すように降雨の影響を避けるためトップだけビニールフィルム(厚さ0.15 mm)で覆っており側面地上1.5 mまでは1 mm目合いのネット被覆, 妻面は解放状態であり, 内で栽培したビニールハウスの中の光輻射が露地の80%になったこと以外は, 露地と条件は異なることは確認した. 土質は腐植質黒色黒ボク土造成層. 最初の冬作の前の



第1図 ホウレンソウ(*Spinacia oleracea* L.)の2003年時の作期の略図. 環境要因について示したもの(A), ホウレンソウ栽培に用いた雨よけハウス(86.4 m², 5.4x16 m)(B), 雨よけハウスで播種後30日後のホウレンソウの様子(C). Aにおいて, 白丸と長方形はそれぞれ播種時と収穫時期を示す. 実線と点線はそれぞれ横浜の平均気温と平均日長を示す. 播種日は冬作2002年10月25日, 春作2003年3月5日, 夏作同年7月7日, および秋作同年9月10日. ホウレンソウ栽培は2002年10月25日から2003年11月24日まで神奈川県農業技術センター(神奈川県平塚市, 35°20', 経度139°16')で行った.

第2表 各作期における環境要因, およびホウレンソウ 182 品種における栽培日数, 硝酸塩およびシュウ酸塩濃度の平均値

環境要因と各測定項目	作期 ^z			
	冬作	春作	夏作	秋作
	10月-1月	3月-4月	7月-8月	9月-10月
平均気温(°C) ^y	6.8	9.7	23.5	19.9
平均日長(hr) ^y	10 h 12 min	12 h 22 min	14 h 5 min	11h 54 min
栽培日数	85.7±0.6d ^x	45.7±0.3c	32.7±0.2b	35.5±0.1a
硝酸塩濃度 (mg kg ⁻¹ FW)	3797±103a	4165±38b	4328±96b	4122±44b
シュウ酸塩濃度(mg kg ⁻¹ FW)	10929±132d	8903±60c	7525±80b	6149±79a

^z 播種日は冬作 2002 年 10 月 25 日, 春作 2003 年 3 月 5 日, 夏作 7 月 7 日, 秋作 9 月 10 日である. ^y 平均気温と平均日長は雨よけハウスの設置してある圃場での値である. ^x 各値は全品種の平均値と標準誤差を示している. 異符号間に Welch's test. で有意差($P<0.01$)があったことを示す.

2002 年 7 月 30 日に熱水土壤消毒を行った(北, 2003 ; Kita ら, 2003 ; 北・岡本, 2004). 熱水土壤消毒後, 定法にしたがい土壤診断を行い EC と pH を測定し, 土壤 pH を 6.5 に合わせるため苦土石灰を施用し, 窒素レベルが 1 kg a⁻¹ となるよう化学肥料(燐加安 42 号, N:P₂O₅:K₂O=14:14:14%, 朝日工業社製)を施用し. その後の作では土壤診断結果を基に土壤中の窒素レベルが 1 kg a⁻¹ となるよう施肥量を調節した. 有機肥料は予測不能な窒素供給の基となるため用いなかった. 播種の 1 日前に土壤水分を均一化するため 3 L m⁻² の灌水を行った. ホウレンソウの種子は 24 時間水道水の流水に浸し 2~3 日間 4°C で処理することにより催芽した. 幅 120 cm 高さ 20 cm のベットに 15 cm 間隔で 6 条に 5 cm 間隔で 3 粒播種した. 播種直後に灌水と立枯病予防を兼ねてヒドロキシイソキサゾール液剤 (商品名: タチガレン, 三共アグロ社製) およびフルトラニル水和剤 (商品名: モンカット, 日本農薬社製) の混合液を 1 m² 当たり 3 L 土壤表面に散布した. 1 品種につき 3 条 7 株 (0.21 m²) 21 株を 1 試験区とし, 3 棟のビニールハウスを用いて 3 試験区設定した. 試験区はビニールハウスの中にランダムに配置した. 発芽後, 最初の本葉が出てきたとき間引きをして 1 本立ちにした. 灌水 (3 L m⁻²) は収穫まで必要に応じて行った.

(3) 収穫とサンプリング

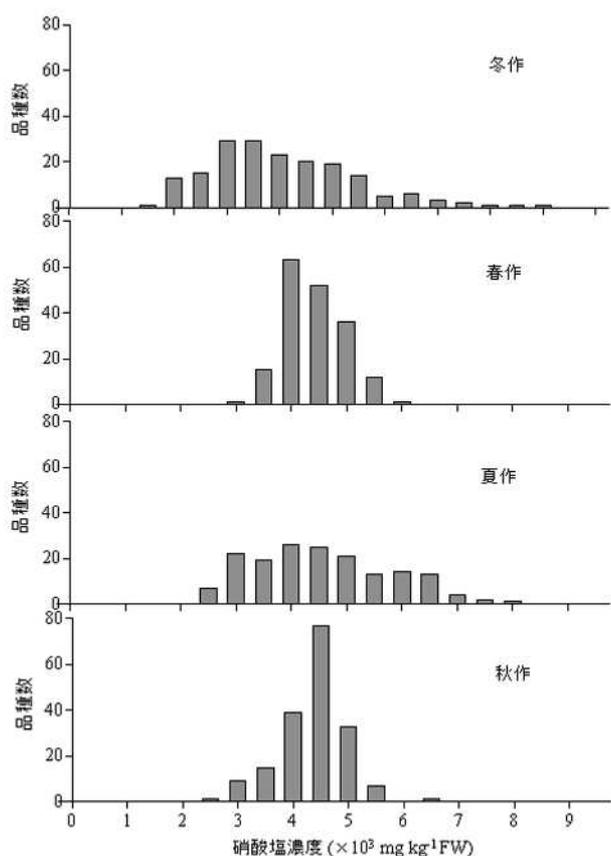
植物体の草丈の 50% が日本の標準的な市場サイズの 25 cm に達したとき 1 試験区から 3 株をランダムに採取した. 1 品種につき 3 試験区あるので 1 品種につ

き 9 株サンプリングした. 本研究では植物体全体としての硝酸塩と水溶性シュウ酸塩濃度を得ることとし, そのために葉柄と葉身は切り離さずに根部を切断した可食部全体を調査対象とした. 新鮮重を正確に測定するため, 植物体は水洗せず, 子葉および最大葉より外側の葉も摘除しなかった. 茎が 1 cm 以上抽台した植物体は除去した. 冬作は 'ノーベル', 'バイキング', 'ピロフレー' のような晩生品種は草丈 25 cm 未満でも播種後 95 日目に採取した.

植物体中に含まれる硝酸塩は硝酸還元酵素により亜硝酸塩に還元されるが, この酵素は光強度に影響される(Beevers and Hageman, 1980; 杉山ら, 1984; Kojima ら, 1995)ため, 植物体は午前 9 時から 10 時の間に胚軸の最上位でカットした. 採取後, 生鮮重を測定したのち 3 株まとめてビニール袋に入れ直ちに -20°C で保存した.

(4) 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の測定

硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度は高速液体クロマトグラフィー(HPLC)をもちいワンステップで測定した. 冷凍保存しておいた植物体を生鮮重 10 倍量の脱イオン水を加え業務用ミキサー(MX-X103, National 社製)で 5 分間処理した後, 氷上でろ紙(ADVANTEC No.3: Advantec 社製)でろ過した. ろ液はさらにスピнкаラム Ultrafree-MC 0.45 μm PTFE 膜(MILLIPORE 社製)で 5000 g, 60 分間, 4°C 処理した後 -20°C で保存した. HPLC で測定する前に氷上で解凍し, 100 倍希釈になるよう脱イオン水で希釈し, ディスポーザブルバイアル(S/T



第2図 ホウレンソウ182品種の2002年10月から2003年10月までの冬作, 春作, 夏作および秋作の硝酸塩濃度の $500 \text{ mg kg}^{-1} \text{ FW}$ 刻みの度数分布. 播種日は冬作2002年10月25日, 春作2003年3月5日, 夏作同年7月7日, および秋作同年9月10日.

micro vial; Tomsic 社製)に移した. 硝酸塩濃度およびシュウ酸塩濃度は HPLC (LC-10A システム, 島津社製)により同時定量した. カラムとして Mightysil RP-18(150-4.6 mmφ5μm, 関東化学社製)を使用し, 移動層には pH 6.8, 50 mM のリン酸アンモニウム溶液で 5 mM に調製したテトラブチルアンモニウムクロリドを用い, 流速 1.0 mL min^{-1} , カラム温度 30°C で分離し, 光波長 210 nm で検出した.

結果は1品種につき9株分の各硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の平均値をその品種の値とし, 硝酸塩またはシュウ酸塩の $\text{mg kg}^{-1} \text{ FW}$ として表した.

(5) データ解析

データは JUSE-StatWorks version 4.0(日本科学技術研修所社製)を用いて統計解析を行った.

(6) 気象情報の検索

2003年の横浜の平均気温検索には気象庁 横浜気象台 データベース (<http://www.tokyo-jma.go.jp/home/yokohama/>) を利用し, 各月10日間の平均気温を算出した. 横浜および神奈川県農業技術センター圃場での日長時間検索には海上保安庁海洋情報部 日没時刻方位サービス (http://www1.kaiho.milt.go.jp/KOHO/automail/sun_form3.htm) を用いた. 2003年の横浜における日長時間算出には各月の1日, 10日, 20日の日出・日没時刻を検索した.

栽培期間中の圃場での平均気温算出のために, 神奈川県農林水産情報センター気象観測情報データベース (<http://web05.agri.pref.kanagawa.jp/kisyo/>) から検索した.

3. 結果

(1) ホウレンソウの生育

本研究において, 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の季節変動を明らかにするため一連の実験を行った. 同一の土壤中の窒素レベル(1kg-N a^{-1})で4つの連続した季節にわたってホウレンソウ品種の成長率について分析した. 環境状況の季節変動はホウレンソウの成長に関して温度, 光周期と光度の影響の調査を可能とした(第1図, A)(Cantliffe, 1972a, b, c). 日長時間(12時間)は同じでも, 春作は気温が低く, 秋作は気温が高かった. 各品種の成長率は実際の収穫日数での季節変動を除去するため相対収穫日数により測定した. 相対収穫日数は, 対応する平均収穫日数のパーセンテージを変換して得られる4つの作期の相対収穫日数の平均値で計算した. 各品種の早晩性は, 4作期における相対収穫日数から, 早生(F:95>), 中生(M:95-105), 晩生(S:105<)の3種類に分類した. これら3つの範囲は Welch test で優位差($p<0.001$)がある相対収穫日数度数分布パターンに基づいて設定した. 早生(F), 中生(M), 晩生(S)成長型は総品種数における25%, 46%, および29%を占めていた. すなわち全182品種を, '禹城',

'アジア', '日本', '次郎丸', '温品'などの早生(F)46

品種, ‘朝霧’, ‘アトラス’, ‘サンピア’, ‘ミストラル’, ‘ミンスターランド’ などの中生(M)83 品種, ‘おかめ’, ‘キング オブ デンマーク’, ‘ノーベル’, ‘ピロフレー’, ‘プリウス’ などの晩生(S)53 品種に分類した(第1表).

気温と日射量は夏作においてはより高く, 冬作はより短かった(第2表). ホウレンソウ品種は各々光周期と気温に対して独特の反応を示し, 異なる成長特性を示した. 作期間での収穫に必要とする平均日数(栽培日数)は統計的に有意ではないが平均気温と負の相関をした. 夏作および秋作の平均収穫日数はわずかに33から35日であったのに対し, 冬作において, 85日を上回った(第2表). 春作と秋作において, 光周期は類似していたが平均気温の差を反映して, 春作が10日以上平均栽培日数を必要とした.

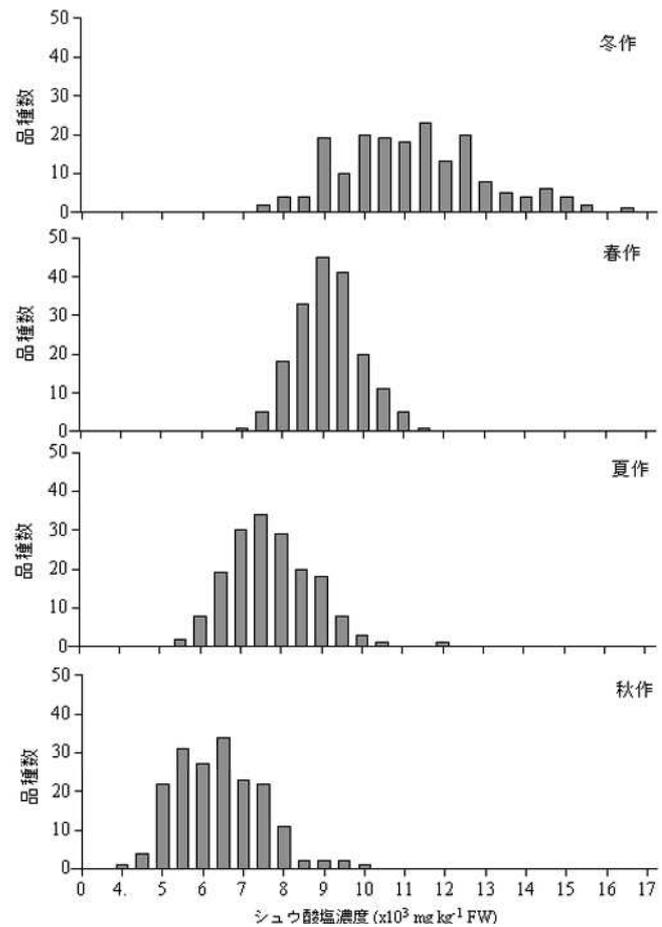
(2) 硝酸塩濃度の季節変動

春作, 夏作, 秋作のホウレンソウ182品種の硝酸塩濃度の平均値は有意差がなく4122から4328 mg kg⁻¹ FWを示したが, 冬作においてはその他の3つの季節より有意に($P<0.01$)低く3797 mg kg⁻¹ FWであった(第2表).

各作期間での硝酸塩濃度を500 mg kg⁻¹ FWの間隔で度数分布をみると, 2つの異なったパターンが明らかになった, すなわち春作と秋作に狭く, 冬作と夏作に広がった(第2図). 春作の総品種のうち34.4%は, 4000から4500 mg kg⁻¹ FW, 秋作において41.8%は4500から5000 mg kg⁻¹ FWに分布していた. 冬作と夏作においてより幅広い分布を示した, それは1200から8000 mg kg⁻¹ FWまで変動した.

(3) シュウ酸塩濃度の季節変動

硝酸塩濃度とは異なり, ホウレンソウ182品種すべてのシュウ酸塩濃度の平均値は作期に拠り大きく異なっている, すなわち冬作で一番高く(10929 mg kg⁻¹ FW), 秋作で一番低かった(6149 mg kg⁻¹ FW)(第2表). シュウ酸塩濃度の度数別分布(500 mg kg⁻¹ FWごと)は, 作期により明白な差異があることを示した(第3図).

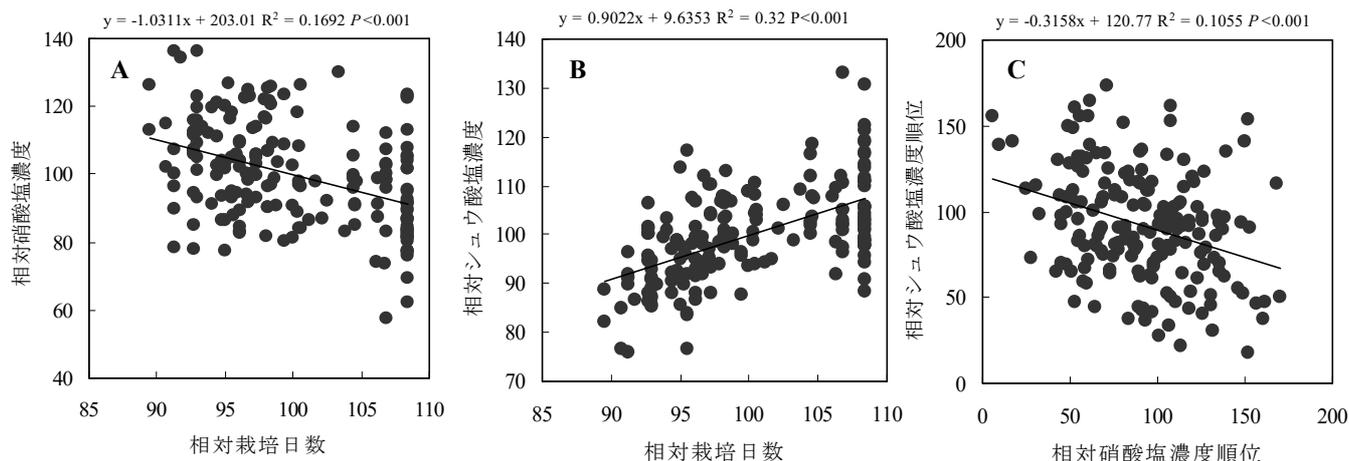


第3図 ホウレンソウ182品種の2002年10月から2003年10月までの冬作, 春作, 夏作および秋作のシュウ酸塩濃度の500 mg kg⁻¹ FW刻みの度数分布. 播種日は冬作2002年10月25日, 春作2003年3月5日, 夏作同年7月7日, および秋作同年9月10日.

春作は最も狭くモードは9000 mg kg⁻¹ FWであり, 夏作と秋作は比較的広いが類似したパターンを示し, 各モードはそれぞれ7500と6500 mg kg⁻¹ FWであった. 冬作では, 描かれたプロファイルは非常に幅広くモードを特定するのは困難であった.

(4) 相対栽培日数と硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度との関係

播種から収穫まで必要とする日数と, 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度との関係を, 季節変動を除くため相対値を用いてさらに分析した. 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の相対値は相対栽培日数と同じ方法で計算した. そして, 4作期の相対値の平均値のパーセンテージと



第4図 収穫までに要した相対栽培日数と硝酸塩(A)およびシュウ酸塩(B)の相対濃度との間に認められる相対関係および硝酸塩とシュウ酸塩の相対濃度順位との間に認められるスピアマン順位相関関係(C). 各ドットはホウレンソウ品種の各々の値を示す. AおよびBにおいて, 相対栽培日数は4つの作期(冬, 春, 夏, 秋)における実際の栽培日数を, 平均に対応するパーセンテージ変換した各作期の相対栽培日数の平均値で表される. 相対硝酸塩濃度と相対シュウ酸塩濃度も相対栽培日数と同様に計算した. Cにおいて, ホウレンソウ品種の相対硝酸塩濃度順位と相対シュウ酸塩濃度順位は, 最も低いものから高いものまでの順位の4作期の平均値として算出した.

して表した. 相対的硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度を相対栽培日数に対してプロットすると, 硝酸塩濃度は相対栽培日数に対し緩やかな負の相関($R^2=0.1692$, $P<0.001$)を示し, 一方相対シュウ酸塩濃度は相対栽培日数に対し強い正の相関($R^2=0.32$, $P<0.001$)を示した(第4図, A, B).

相対的な硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度は均一ではないため, 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の関連を調べるため, スピアマンの順位相関解析を行った. ホウレンソウ品種の硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の平均順位を用いて, 最も低いものから最も高いものまで4作期の平均値として計算した. 予期したとおり, 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の間には緩い負の相関($R^2=0.1055$, $P<0.001$)が認められた(第4図, C).

(5) 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の成長型

分析

ホウレンソウ品種の早晚性と硝酸塩・シュウ酸塩濃度との関係を作期と関連させて解明するため, 作期ごとに硝酸塩濃度及びシュウ酸塩濃度の高低ベスト10品種を抽出し, 第3表にとりまとめた. 夏作以外の作期では同じ品種が繰り返し抽出され, 硝酸塩濃度及び

シュウ酸塩濃度いずれについても同じ品種が季節にかかわらず常に低いまたは高い値を示した. たとえば, 低硝酸塩濃度品種は‘みっちゃん’, ‘力士’, ‘ミリオン’が, また, 高硝酸塩濃度品種は‘次郎丸大葉’及び‘ひかり’が2作期以上で抽出された. 一方, シュウ酸塩濃度については, ‘禹城大葉’, ‘巨豊大葉’, ‘温品’, ‘太平大葉’が低シュウ酸塩濃度品種群に, ‘晩抽サイクル’, ‘キャニオン’, ‘力士’, ‘黒葉ニューキング’, ‘サザンクロス’が高シュウ酸塩濃度品種群に抽出された.

季節別の品種構成の変動パターンを解析する過程で, ‘力士’, ‘晩抽サイクル’, ‘黒葉ニューキング’, ‘ミレー’, ‘アーガス 117’, ‘たかちゃん’の6品種は, いずれも晩生品種群に分類される品種であり, 季節にかかわらず常に硝酸塩濃度は低くシュウ酸塩濃度は高いレベルを示すことが明らかになった. そこで, 各品種群に含まれる品種をそれぞれ早晚性別に計数してみた結果, それぞれの作期では明確な傾向は認められなかったものの, 4作期のデータをプールしてみると, 硝酸塩濃度については低品種群は晩生品種が全体の52.6%を, 高品種群は早生品種が全体の43.8%を占めた. 逆に, シュウ酸塩濃度については, 低品種群は早生品種が全体の52.6%を, 高品種群は晩生品種が全体の60.5%を占めた. ホウレンソウ品種の成長型, 相対栽

第3表 硝酸塩及びシユウ酸塩の最低・最高トップ7~10品種リスト

冬作 (Oct-Jan ²)	春作 (Mar-Apr)	夏作 (Jul-Aug)	秋作 (Sep-Oct)
[硝酸塩濃度(mg kg⁻¹ FW)]			
<1900	<3400	<2600	<3000
みっちゃん(S:1243) ³	力士(S:2977)	モナリザ(S:2089)	みっちゃん (S:2105)
バンクーバー(S:1598)	みっちゃん(S:3123)	みちのく 2号(F:2324)	ミレー (S:2689)
力士(S:1705)	ホークス 203 (F:3168)	リバティ(M:2344)	ミリオン(M:2701)
ビリーブ(F:1742)	黒葉 ^{ニュキョウ} (S:3209)	ピレネー(M:2349)	プロセス 23 (S:2825)
晩抽 ^{パルク} (S:1776)	みちのく(M:3251)	アールフォー (F:2446)	アーガス 117 (S:2844)
晩中サイクル(S:1795)	北海一番(F:3330)	力士 (S:2479)	たかちゃん (S:2854)
パルク(S:1832)	ミリオン(M:3361)	マクワイアー(M:2496)	プロセス 27 (S:2863)
パレット(M:1877)	リード(F:3369)	耐病ピッカリ (S:2555)	改良バイキング(S:2912)
	ラディカル(M:3378)	神奈川選抜(角)(M:2577)	マジック(S:2987)
(生育速度別構成)	マッスル(F:3390)	アトランタ(M:2591)	バルカン(M:2992)
F: 1	F: 4	F: 2	F: 0
M: 1	M: 3	M: 5	M: 2
S: 6	S: 3	S: 3	S: 8
			(計 (%))
			F: 7(18.4)a [*]
			M: 11(29.0)ab
			S: 20(52.6)b [*]
>6500	>5000	>6500	>5000
次郎丸大葉(F:6524)	ひかり (F:5017)	若草大葉(F:6529)	万葉(F:5065)
リード(F:6531)	ペガサス(M:5062)	新仙台(F:6558)	スプレnder (M:5071)
アカデミー(M:6543)	ビタレン 85 (S:5185)	ニューアジア(F:6708)	ビリーブ(F:5197)
シーマ(M:7165)	パスカル(S:5194)	くろうま(M:6726)	オーライ(M:5231)
アクセス 2号(M:7365)	新日本大葉(M:5213)	巨豊(F:7005)	剣山(M:5279)
八千草 2号(F:7598)	次郎丸大葉 (F:5236)	エブリ (M:7338)	アップライト(M:5310)
アールフォー(F:8021)	トニック(M:5326)	エイトマン(M:7848)	ひかり(F:5433)
インド系 2 (M:8620)	禹城大葉(F:5495)		シェフ(M:6026)
	アンナ(M:5614)		
F: 4	F: 3	F: 4	F: 3
M: 4	M: 4	M: 3	M: 5
S: 0	S: 2	S: 0	S: 0
			(計 (%))
			F: 14(43.8)a
			M: 16(50.0)a
			S: 2(6.2)b
[シユウ酸塩濃度(mg kg⁻¹ FW)]			
<8500	<7600	<6000	<4700
禹城大葉(F:7067)	パルク(S:6750)	イーハトーブ(F:5370)	巨豊大葉(F:3927)
トレンド(M:7362)	太平大葉 (M:7333)	ビーナス 1号(S:5451)	サザンクロス(M:4184)
巨豊大葉(F:7551)	ニューホープ(M:7367)	アトランタ(M:5506)	太平大葉(M:4253)
そよかぜ(F:7698)	温品(F:7431)	マクワイアー(M:5581)	収益(F:4477)
はまいち(F:7747)	晩抽 ^{パルク} (S:7433)	弁天 2号(F:5583)	禹城大葉(F:4499)
黒葉 ^{ニュキョウ} (F:7903)	ペガサス(M:7458)	コンドル(M:5643)	アールフォー(F:4558)
新日本大葉(M:8080)	禹城(F:7511)	サマンサ(S:5678)	温品 (F:4598)
次郎丸大葉(F:8161)	サンライト(S:7550)	巨豊大葉(F:5702)	丸粒東海(M:4626)
温品(F:8412)	大緑(S:7567)	耐病トップス(F:5827)	
耐病たいかん(F:8453)	アジア(F:7589)	プロセス 27 (S:5951)	
F: 8	F: 3	F: 4	F: 5
M: 2	M: 3	M: 3	M: 3
S: 0	S: 4	S: 3	S: 0
			(計 (%))
			F: 20(52.6)a [*]
			M: 11(29.0)ab
			S: 7(18.4)b [*]
>14200	>10300	>9100	>7800
アクセス 2号(M:14293)	キャニオン(S:10383)	スプリング(S:9105)	耐病ピッカリ (S:7836)
晩抽サイクル(S:14334)	晩抽トルタス(S:10392)	ヘラクレス(F:9109)	力士(S:7911)
キャニオン(S:14661)	さっちゃん(S:10450)	耐病パロマ(M:9225)	サザンクロス (S:7997)
力士(S:14694)	黒葉 ^{ニュキョウ} (S:10567)	アトラス(M:9268)	オリオン(S:8083)
マース(F:14752)	シユマイザー(S:10650)	朝霧(M:9306)	晩抽サイクル(S:8345)
アールフォー(F:14990)	力士(S:10750)	スーパー(F:9329)	ミレー (S:8625)
アステア(M:15042)	ドーバー (M:10817)	キャニオン(S:9508)	アーガス 117 (S:8969)
TS784 (M:15158)	サザンクロス(S:10883)	くろうま(M:9717)	たかちゃん(S:9047)
黒葉 ^{ニュキョウ} (S:16237)	剣山(M:11142)	パレット(M:9767)	キャニオン(S:9465)
		丸粒東海(M:11816)	黒葉 ^{ニュキョウ} (S:9643)
F: 2	F: 0	F: 2	F: 0
M: 3	M: 2	M: 6	M: 0
S: 4	S: 7	S: 2	S: 10
			(計 (%))
			F: 4(10.5)a [*]
			M: 11(29.0)ab
			S: 23(60.5)b [*]

²生育期間, ³生育速度, ^{*}異符号間に LSD 検定による有意差 ($P < 0.01$ and 0.05 (*)) あり。各品種とも生育速度と実際の硝酸塩/シユウ酸塩値を括弧内に示した。また、各群コラムの下に生育速度別の品種数及び右端にその合計値 (構成比%) を示した。強調網線を付した品種は作期を通じて硝酸塩またはシユウ酸塩が高いまたは低い濃度であったことを示す。囲みを付した品種は同一栽培期間において低硝酸塩高シユウ酸濃度を示す。二重下線を付した品種は同一栽培期間に高硝酸塩低シユウ酸濃度を示す。下線を付した品種は同一栽培期間に高硝酸塩高シユウ酸濃度を示す。

培日数、作期別硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度と抽台率との関係を探るため、3つの成長型を基に解析し、第4表に要約した。3つの成長型の相対栽培日数は互いに異なり、早生、中生、晩生に分類される範囲から代表値を示した。Welch テストをノンパラメトリック統計解析として有意差を検定するため用いられた、これは平均の分散が4つの作期間で同じ成長型では均一ではないためである。結果として、‘次郎丸大葉’、‘禹城大葉’、‘若草大葉’のような早生品種の硝酸塩濃度は、‘みっちゃん’、‘力士’、‘たかちゃん’のような晩生品種や、中間の値を示す‘シーバス’、‘伊達在来’、‘マゼラン’のような中生品種より、秋($P<0.05$)、冬と夏($P<0.01$)に有意に高い値を示した。同じ成長型の中では、作期別硝酸塩濃度は晩生品種だけ有意に異なった($P<0.01$)、これは春作の硝酸塩濃度が比較的高かったからである。上記の関係は総体的な分析により得られた結果と一致する(第2表)。一方、シュウ酸塩濃度は4つの作期通じて‘キャニオン’、‘黒葉ニューキング’、‘ミレー’のような晩生品種が最も高く、‘禹城大葉’、‘巨豊大葉’、‘温品’のような早生品種が最も低かった。3つの成育型の間で有意差は冬作と秋作($P<0.01$)に、早生と他の型において春作($P<0.01$ または 0.05)にあったが、夏作にはなかった。また、硝酸塩濃度については生育速度と作期の間で有意差は認められなかったが、シュウ酸塩濃度は有意差があった。抽台した品種は春作では11品種、夏作では161品種であった。抽台率は春作、夏作とも早生、中生、晩生の順で低くなった、これはハウレンソウ品種の成長速度を反映している。

共に、これらの結果は同じ窒素施肥の基で比較する

対し、晩生品種は低硝酸塩と高シュウ酸塩であることを確認した。

こ

4. 考察

硝酸塩濃度の季節変動について春作、夏作、秋作の硝酸塩濃度の平均値は有意差がなかったが、冬作においてはその他の3つの季節より有意に($p<0.01$)低い値を示した(第2表)。藤原ら(2005)および寄藤ら(2005)は市販ハウレンソウにおいて硝酸塩含有量は夏期に高く冬期に低い値を示したと報告している。Chung ら(2003)は韓国で栽培されたハウレンソウの冬期と夏期の硝酸塩濃度が $4259 \text{ mg kg}^{-1} \text{ FW}$ であったと報告している、これは本研究のデータと一致している。これらの結果は、平均栽培日数の増加が認められた冬作を除いて、ハウレンソウ品種全体的な硝酸塩濃度は同一の窒素レベル下においてほとんど同じであることを示す。これは硝酸塩は最も重要な窒素栄養源であり、生長のためには常に硝酸塩が供給され、植物体内にある程度の硝酸塩がプールされている(安田, 2004)ことを支持するものである。

硝酸塩濃度を $500 \text{ mg kg}^{-1} \text{ FW}$ の間隔で品種度数分布をみてみた場合、春作と秋作に狭く、冬作と夏作に広がった(第2図)。温度と日射はハウレンソウの硝酸塩代謝に影響する重要な環境要因である(Breimer, 1982; Elia ら, 1998; Maynard ら, 1976; Muramoto, 1999)、特に成長にとって好ましくない冬期と夏期にお

第4表 早晩性別に品種分類したときの栽培日数、作期別硝酸塩・シュウ酸塩濃度及び作期別抽台率

早晩性 ^z	栽培 ^y 日数	硝酸塩濃度 ($\text{mg kg}^{-1} \text{ FW}$)				有意性	シュウ酸塩濃度 ($\text{mg kg}^{-1} \text{ FW}$)				有意性	抽台率(%)		有意性
		冬作	春作	夏作	秋作		冬作	春作	夏作	秋作		春作	夏作	
早生 ^x	93.0a ^w	4190b	4187a	4683a	4424c	ns ^v	9942a	8567a	7379a	5261a	** ^v	1.3c	70.1c	**
中生	98.8b	3976b	4154a	4380ab	4233b	ns	10949b	9065b	7627a	6008b	**	0.1b	55.6b	**
晩生	107.9b	3175a	4163a	3985a	3684a	**	11755c	8948b	7348a	7140c	**	0a	13.6a	**
生育速度 × 作期 ^a		ns ^t					** ^v					**		

^z第1表参照。 ^y作期別に収穫迄日数の平均値を100としたときの各品種の相対値から算出した総平均値。 ^x生育期間。 ^w異符号間にLSD検定による有意差 ($P<0.01, 0.05(*)$)あり。 ^vns:有意差なし。 **:1元配置分散分析で有意差あり ($P<0.01$)。 ^a交互作用。

^tns:有意差なし, **:生育速度と作期についての2元配置分散分析で有意差あり ($P<0.01$)。

いて、硝酸塩濃度の度数分布パターンが大きく異なるのは合理的と考えられる。冬作に観察された低硝酸塩濃度は低平均気温と低日射量により硝酸還元活性と土壌から硝酸塩を吸収する根の活性が減少した結果かもしれない (Cantliffe, 1972a; Oldary ら, 1976)。しかしながら、本研究において、いくつかの品種(‘アールフォー’, ‘八千草2号’, ‘アクセス2号’, ‘シーマ’) で冬作では他の季節の1.5倍も硝酸塩濃度が高かった。また、冬作においては‘アールフォー’と‘アクセス2号’が、夏作においては‘くろうま’が高硝酸塩・高シュウ酸塩濃度を示した(第3表)。これらの結果はホウレンソウにおいて吸収された硝酸塩には摂取、代謝および同化といった遺伝的影響を示しているのかもしれない(Cantliffe, 1972a, b)。

シュウ酸塩濃度について 500 mg kg^{-1} FW の間隔で品種度数分布をみてみた場合、品種度数分布の幅は冬作を除き各作期大きな差異は見られなかった(第3図)。各作期のモードは春作, 夏作, 秋作の順で低くなった。冬作においてモードを特定することは困難だったが、これは極めて長い栽培期間のためであると考えられる。

さらに、4作期のシュウ酸塩濃度の平均値は平均栽培日数に正の相関($R^2=0.8243$, $P<0.001$)を示していた、これは生育期間がより長いとシュウ酸塩濃度がより高くなることを示している。シュウ酸塩は植物の炭水化物代謝の最終産物の1つであり、小嚢に蓄積される(Raven and Smith, 1976; 堀江, 2008)、細胞内のシュウ酸塩の量は植物の齢が増えると共に増加すると考えられる。得られた結果はシュウ酸塩濃度はホウレンソウの成育期間の長さとは密接な関係があることを示す。それゆえ、植物の成長率と、そしてすなわち植物の齢は、植物組織におけるシュウ酸塩蓄積の主要因である可能性がある。

播種から収穫まで必要とする栽培日数と、硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度との関係を、季節変動を除くため相対値を用いてさらに分析した。相対硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度を相対栽培日数に対してプロットすると、硝酸塩濃度は相対栽培日数に対し緩やかな負の相関($R^2=0.1692$, $P<0.001$)を示し、一方相対シュウ酸塩濃度は相対栽培日数に対し強い正の相関($R^2=0.32$, $P<0.001$)を示した(第4図, A, B)。硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃

度の関連を調べるため、スピアマンの順位相関解析を行った。その結果、硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の間には緩い負の相関($R^2=0.1055$, $P<0.001$)が認められた(第4図, C)。この結果は明らかに成長率が硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の主要因であることを示している。

Tanaka ら(2001)はシュウ酸塩生合成と硝酸塩還元の追跡調査により、ホウレンソウにおけるシュウ酸塩の主要機能は、硝酸塩が還元されたとき放出され細胞質 pH をアルカリ化する OH^- の中和であると示唆した。それゆえ、本研究で得られた結果は、ホウレンソウにおいて硝酸塩とシュウ酸塩は互いに相対する役割を果たしている可能性を示唆する。

ホウレンソウ品種の早晩性と硝酸塩・シュウ酸塩濃度との関係を作期と関連させて解明するため、作期ごとに硝酸塩濃度及びシュウ酸塩濃度の高低ベスト10品種を取りまとめたところ、シュウ酸塩濃度より硝酸塩濃度の方が作期間の品種変動が大きいことから、窒素代謝系は環境要因の影響を強く受けることが示唆された。また、早生品種は高硝酸塩・低シュウ酸塩、晩生品種は低硝酸塩・高シュウ酸塩を示すことが明らかになった(第3表)。

本研究において得られる結果は以下の通り、すなわち1)同じ窒素施用条件下で統計学的に低い硝酸塩濃度を示した冬作以外、作期に関係なく、ホウレンソウ品種の全体的な硝酸塩濃度は基本的に一定だが、シュウ酸塩濃度は作期に拠って大きく変動する。2)ホウレンソウ栽培品種の成長率は硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度を説明する、すなわち、成長する時期に関係なく晩生品種は低硝酸塩で高シュウ酸塩濃度を示すのに対し、早生品種は高硝酸塩で低シュウ酸塩濃度である。ホウレンソウの成長率は主に気温に依存している、よってシュウ酸塩の季節変動がホウレンソウの成長率の季節変動から生じたことは当然である。ホウレンソウ植物体中の硝酸塩とシュウ酸塩の相反する関係は、硝酸塩とシュウ酸塩がホウレンソウ代謝のホメオスタシスを保つ際に互いに相反する役割を演じるかもしれないことを示唆する。本研究の結果は、早生品種を用いることにより低シュウ酸塩含有ホウレンソウを育種できることを示す。ホウレンソウの硝酸塩濃度が早生品種においてより高いことが示されたが、様々な栽培方法で

ハウレンソウ中の硝酸塩を低減化することができる、例えば窒素施用量を減らすための作付け前の土壌中の硝酸態窒素検査や、堆肥で土壌管理の基礎を形成する (Breimer, 1982 ; Muramoto, 1999)等が開発されている。したがって、施用する硝酸態窒素を低減化し、シュウ酸塩濃度の低い早生品種栽培を組み合わせれば、ハウレンソウ中の硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度を同時に減らすことが可能かもしれない。

第2節 品種間差異の要因解析

1. 緒言

前節で、同窒素供給下で4つの作期(冬, 春, 夏, 秋)にわたってホウレンソウ 182 品種を栽培したところ, 植物体可食部全体の相対硝酸塩濃度は相対栽培日数に負の相関関係を示したのに対し, 相対シュウ酸塩濃度は相対栽培日数と正の相互関係を示した. また, 4つの作期の硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度のスピアマンの順位相関解析を行ったところ, 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の間には緩い負の相関関係があることが示された(Kaminishi and Kita, 2006).

また, 4つの作期の中で品種ごとの硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の季節変動の品種度数分布を見てみると, 硝酸塩濃度の場合, 春作と秋作に狭く, 夏作と冬作に広い分布パターンを示した. シュウ酸塩濃度塩の場合にはまた, 冬作が一番幅の広いプロファイルを示した(Kaminishi and Kita, 2006).

よって, この節の目的は, 硝酸塩濃度・シュウ酸塩濃度ともに品種間差異の大きい冬作栽培において, ホウレンソウの硝酸塩濃度・シュウ酸塩濃度の品種間差異の要因解析を行うため, 環境要因として, 栽培日数と有効積算温度と積算日射量, 遺伝的要因として最大葉の葉柄葉身比と葉身のクロロフィル含有量に着目し, それらと硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度との相関関係を明らかにすることである.

2. 材料および方法

(1) 供試品種

国内の種苗会社から収集した 122 品種を供試した. 種子は第 I 章第 1 節と同じロットのものを用いた. 成長率は第 II 章第 1 節に準じて示している(第 5 表).

朝日工業(株)1 品種, アタリヤ農園(株)2 品種, カネコ種苗(株)5 品種, 協和種苗(株)5 品種, コサカ種苗(株)1 品種, (株)サカタのタネ 15 品種, 山陽種苗(株)2 品種, タカヤマシード(株)11 品種, タキイ種苗(株)17 品種,

トーホク(株)6 品種, トキタ種苗(株)6 品種, 中原採種所(株)3 品種, ナント種苗(株)4 品種, 日東農産(株)7 品種, 野原採種所(株)1 品種, 広島市農林振興センター1 品種, フジイシード(株)1 品種, 北海道西胆振農業普及センター1 品種, 丸種(株)6 品種, 武蔵野種苗園(株)3 品種, モモセ種苗(株)2 品種, 山形県種苗(株)1 品種, 大和農園(株)3 品種, 雪印種苗(株)2 品種, 横浜植木(株)5 品種, 渡辺採種所(株)4 品種, 渡辺農事(株)5 品種, 神奈川県農業技術センター所蔵品種 3 品種(‘神奈川県選抜系統(角種子)’ 1 品種, 外国品種 2 品種)を供試した.

(2) 栽培方法

播種日は, 第 II 章第 1 節の冬作と同じ日の 2003 年 10 月 25 日に行った. 栽培も第 II 章第 1 節と同じホウレンソウ連作雨よけハウス(腐植質黒色黒ボク土造成層)内で栽培した. 2003 年 6 月 19 日に, 熱水処理 (200 L m⁻²) (北, 2003 ; Kita ら, 2003 ; 北・岡本, 2004) を行い, 2003 年 8 月 31 日まで透明ポリフィルム(0.75 mm 厚)による太陽熱消毒を行った. 熱水土壤消毒後, 定法にしたがい土壤診断を行い EC と pH を測定し, 土壤 pH を 6.5 に合わせるため苦土石灰を施用し, 窒素レベルが 1 kg a⁻¹となるよう化学肥料(燐加安 42 号, N:P₂O₅:K₂O=14:14:14%, 朝日工業社製)を施用した. 有機肥料は予測不能な窒素供給の基となるため用いなかった. 播種の 1 日前に土壤水分を均一化するため 3L m⁻²の灌水を行った. ホウレンソウの種子は 24 時間水道水の流水に浸し 2~3 日間 4°C で処理することにより催芽した. 幅 120 cm 高さ 20 cm のベットの 15 cm 間隔で 6 条に 5 cm 間隔で 3 粒播種した. 播種後, ヒドロキシソキサゾール液剤(商品名: タチガレン, 三共アグロ社製)とフルトラニル水和剤(商品名: モンカット, 日本農薬社製)混合液を 3 L m⁻² 灌水した. 1 品種につき 3 条 7 株(0.21 m²)21 株を 1 試験区とし, 3 棟のビニールハウスを用いて 3 試験区設定した. 試験区はビニールハウスの中にランダムに配置した. 発芽後, 最初の本葉が出てきたとき間引きをして 1 立ちにした. 灌水 (3 L m⁻²)は収穫まで必要に応じて行った.

なお, 栽培期間中の平均気温は 10°C, 最高気温は 15.3°C, 最低気温は 5.2°C であった.

第5表 品種、生育速度²及び種子入手先³

品種	生育速度	種子入手先	品種	生育速度	種子入手先	品種	生育速度	種子入手先	品種	生育速度	種子入手先
F1 交配早生	M	12	巨豊大葉	F	17	耐病アクティブ	M	14	ブラトン	M	14
TS784	M	19	キングオブデンマーク	S	4	耐病だいかん	F	12	ブレード	F	9
アールフォー	F	16	グリーンピア	F	4	耐病トップス	F	12	弁天2号	F	18
アイクル	F	6	グリーンページ	M	7	耐病パロマ	M	12	豊葉	M	18
愛知次郎丸	F	17	くろうま	M	13	太平大葉	M	17	豊葉(あじ王)	M	2
アカデミー	M	17	黒葉ニュークイン	F	13	ダッシュ	M	24	豊葉(むさし)	M	19
アクセス2号	M	13	黒葉シスターラッド	M	18	伊達在来	M	28	豊葉(まほろば)	M	14
アクティブ	M	14	剣山	M	19	ディンプル	F	14	ホークス203	F	20
アジア	F	7	コンドル	M	25	東照	S	19	北海一番	F	4
アステア	M	1	コンバット	F	20	ドーバー	M	22	マグワイア	M	21
アップライト	M	20	サマーガッツ	M	11	トライ	F	18	マゼラン	M	18
アトラス	M	14	サロニカ	M	6	トレンド	M	12	マッスル	F	9
アトランタ	M	14	サンピア	M	4	日本	F	14	丸粒東海	M	14
アドリブ	F	15	サンピアテン	M	4	ニューアジア	F	6	万葉	F	11
アンナ	M	18	シーバス	M	10	ニューアンナR4	M	18	ミストラル	M	14
イーハトーフ	F	9	シーマ	M	6	ニュースター	F	16	みちのく	M	21
インド系2	M	29	シェフ	M	21	ニューホープ	M	17	みちのく2号	F	21
禹城	F	18	収益	F	7	温品	F	27	シスターラッド	M	12
禹城大葉	F	17	春秋一番	M	5	ノーベル	S	12	メガトン	M	18
エイトマン	M	11	次郎丸	F	18	バイキング	S	14	メセナフォー	F	25
エブリ	M	7	次郎丸(たける)	M	19	バザールフォー	M	25	メリット86	M	21
おいしい次郎丸	M	15	次郎丸大葉	F	17	ハッピーヒル	M	13	八千草2号	F	3
オータム	M	19	新仙台	F	22	はまいち	F	25	山形赤根	M	23
オーライ	M	18	新日本	F	18	バルカン	M	8	ユーパロ	F	6
おてもやん	S	18	新日本大葉	M	17	バルチック	M	22	ラディカル	M	11
オラクル	M	14	スーパー	F	8	パレード	M	14	ラルゴ	M	18
改良バイキング	S	17	スプレnder	M	24	パンドラ	M	14	リード	F	14
神奈川選抜(角)	M	26	そよかぜ	F	25	ひかり	F	7	若草	F	18
カルチャー	M	17	ソロモン	M	14	ビリーブ	F	20	若草大葉	F	17
強力オーライ	M	18	ダイナマイト	M	17	ピレネー	M	22			
巨豊	F	24				ビロフレー	S	14			

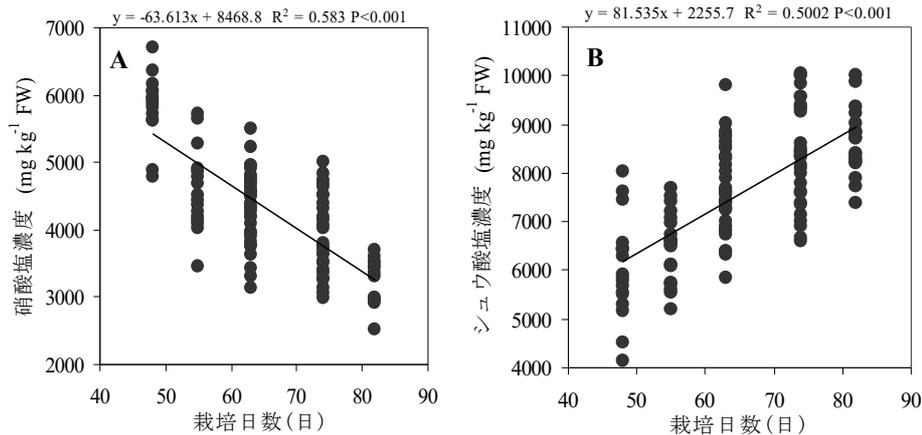
²相対収穫迄日数で分類した早生(F)、中生(M)及び晩生(S)でそれぞれ、<95、95~105 および>105。³1:朝日工業、2:アタリヤ、3:フジイシード、4:カネコ種苗、5:コサカ種苗、6:協和種苗、7:丸種、8:モモセ種苗、9:武蔵野種苗園、10:中原シード、11:ナント種苗、12:日東農産種苗、13:野原種苗、14:サカタのタネ、15:山陽種苗、16:雪印種苗、17:タカヤマ種苗、18:タキイ種苗、19:トーホク種苗、20:トキタ種苗、21:渡辺農事、22:渡辺採種場、23:山形県種苗、24:大和農園、25:横浜植木、26:当所育成系統、27:北海道、28:広島市、29:インド

(3) 収穫とサンプリング

本研究では、第II章第1節と同様に晴天時の午前9時から10時までにサンプリングを行った。サンプリング対象は、各品種とも試験区の50%以上の株が市場流通基準である草丈25cmに達した日に行った。1試験区内の各条7株の中から平均的な草丈を示す株を1株ずつ選び、1試験区につき3株収穫し、1品種につき3反復設定した各処理区から合計9株を、鋏を用いてそれぞれ胚軸直上の地際部で切り取り採取した。本研究

では、植物体全体としての硝酸塩濃度と水溶性シュウ酸塩を得ることとし、そのために葉柄と葉身は切り離さずに根部を切断した可食部全体を調査対象とした。新鮮重を正確に測定するため、植物体は水洗せず、子葉および最大葉より外側の葉も摘除しなかった。

採取後、草丈、生鮮重、最大葉の葉柄長、最大葉の葉身のクロロフィル含有量をクロロフィル計(SPAD-502、ミノルタ社製)で測定したのち3株まとめてビニール袋に入れ直ちに-20℃で保存した。



第5図 冬作(2003年10月25日播種)におけるホウレンソウ122品種の栽培日数と硝酸塩濃度(A), シュウ酸塩濃度(B)の相関関係. 各ドットはホウレンソウ品種の各々の値を示す.

(4) 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の測定

本研究でも, 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の測定は, 第II章第1節と同様に, HPLCを用い, 1ステップで測定した.

結果は1品種につき9株分の各と硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の平均値をその品種の値とし, 硝酸塩またはシュウ酸塩の $\text{mg kg}^{-1} \text{FW}$ として表した.

(5) データ解析

データは JUSE-StatWorks version 4.0(日本科学技術研究所社製)を用いて統計解析を行った.

(6) 気象情報の検索

雨よけハウスが設置してある圃場における栽培期間中の有効積算温度および積算日射量の測定は, 神奈川県農林水産情報センター気象観測情報データベース (<http://web05.agri.pref.kanagawa.jp/kisyo/>) から検索した.

3. 結果

(1) ホウレンソウの生育

本研究では硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の品種間差異の要因を明らかにするため, 第II章第1節と同一の窒素レベル(1 kg a^{-1})で, 同じ播種日(10月25日播種), 同じ種子ロットで行った. 本研究では, 第II章第1節の冬作において, 播種後95日目でも草丈25cm以下となったような品種をのぞく代表的な品種122品種を供試した. 早生, 中生, 晩生は, 総品種数における36.1%, 58.2%, 5.7%を占めていた.

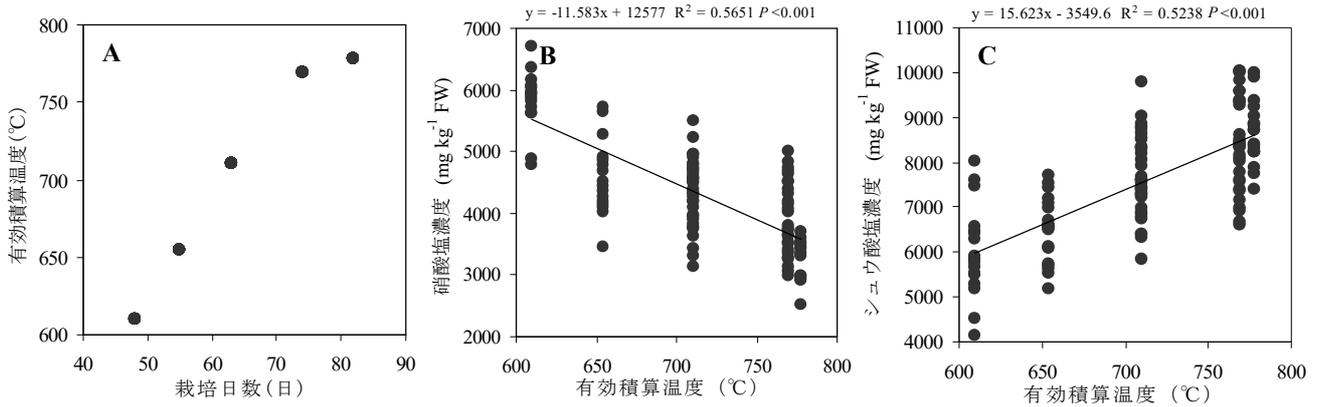
すなわち全122品種を‘禹城’, ‘アジア’, ‘日本’, ‘次郎丸’, ‘温品’などの早生44品種, ‘アップライト’, ‘アトラス’, ‘サンピア’, ‘ミストラル’, ‘ミンスターランド’などの中生71品種, ‘おてもやん’, ‘キングオブデンマーク’, ‘ノーベル’, ‘ピロフレー’, ‘プラトン’などの晩生7品種に分類された(第5表).

本研究では, 播種後82日目においても, 草丈が25cm以下であった品種はなく, 全ての品種が草丈25cm以上で収穫された.

(2) 栽培日数と硝酸塩・シュウ酸塩濃度との相関関係

ホウレンソウ全品種122品種のうち, 播種(2003年10月25日)後, 48日目(2003年12月11日)に‘愛知次郎丸’, ‘禹城大葉’, ‘万葉’など18品種(15%), 55日目(2003年12月18日)に‘アジア’, ‘新日本’, ‘新日本大葉’など19品種(16%), 63日目(2003年12月26日)に‘サラダホウレンソウ’, ‘ソロモン’, ‘ニューホープ’など36品種(30%), 74日目(2004年1月6日)に‘アップライト’, ‘アンナ’, ‘山形赤根’など30品種(25%), 82日目(2004年1月14日)に‘キングオブデンマーク’, ‘エブリ’, ‘ラルゴ’など19品種(16%)が収穫された.

収穫までにかかる栽培日数に対しホウレンソウ各品種の硝酸塩濃度をプロットすると強い負の相関関係



第6図 冬作(2003年10月25日播種)におけるハウレンソウ122品種の収穫までに要した栽培日数時の有効積算温度(生育零点4°C)(A), 有効積算温度と硝酸塩濃度(B)およびシュウ酸塩濃度(C)との相関関係. 各ドットはハウレンソウ品種の各々の値を示す.

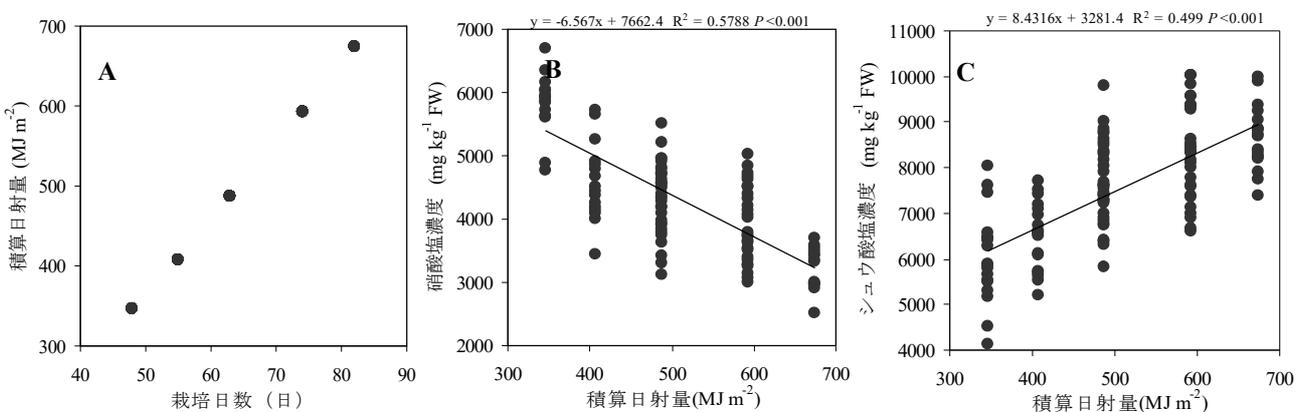
($R^2=0.583$, $P<0.001$)が認められた(第5図, A). 同様に栽培日数に対し各品種のシュウ酸塩濃度をプロットすると, 両者の間には強い正の相関関係($R^2=0.5002$, $P<0.001$)が認められた(第5図, B).

強い負の相関関係($R^2=0.5651$, $P<0.001$)が認められた(第6図, B). また同様に有効積算温度に対しシュウ酸塩濃度をプロットすると, 強い正の相関関係($R^2=0.5238$, $P<0.001$)が認められた(第6図, C).

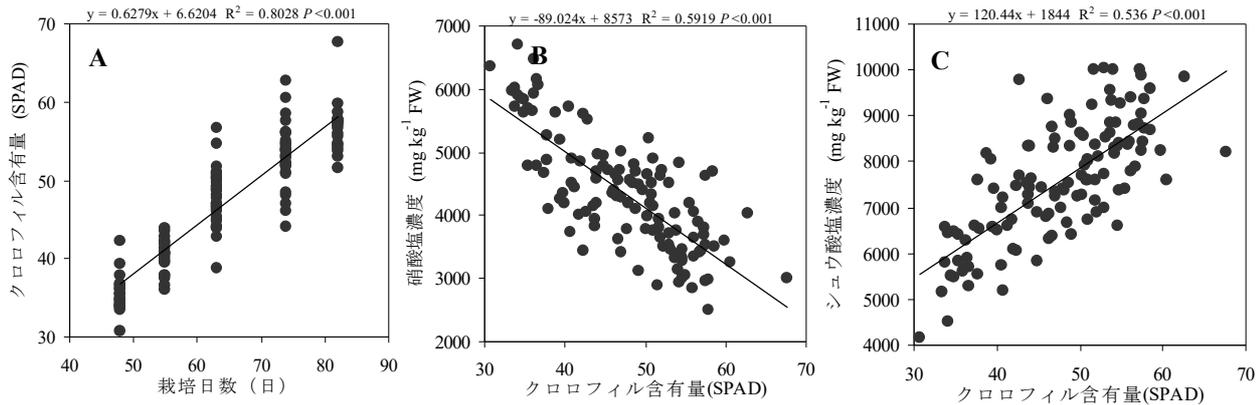
(3) 有効積算温度と硝酸塩・シュウ酸塩濃度との相関関係

雨よけハウスのある圃場の有効積算温度(生育零点4°C)は, 播種後48日目は609.9°C, 55日目に654.4°C, 63日目に710.4°C, 74日目に769.5°C, 82日目に777.9°Cだった(第6図, A).

収穫までにかかる有効積算温度に対しハウレンソウ各品種の硝酸塩濃度をプロットすると, 両者の間に



第7図 冬作(2003年10月25日播種)におけるハウレンソウ122品種の収穫までに要した栽培日数時の積算日射量(A), 積算日射量と硝酸塩濃度(B)およびシュウ酸塩濃度(C)との相関関係. 各ドットはハウレンソウ品種の各々の値を示す.



第8図 冬作(2003年10月25日播種)におけるホウレンソウ122品種の収穫時の最大葉の葉身でのクロロフィル含有量(A), クロロフィル含有量と硝酸塩濃度(B)およびシュウ酸塩濃度(C)との相関関係. 各ドットはホウレンソウ品種の各々の値を示す.

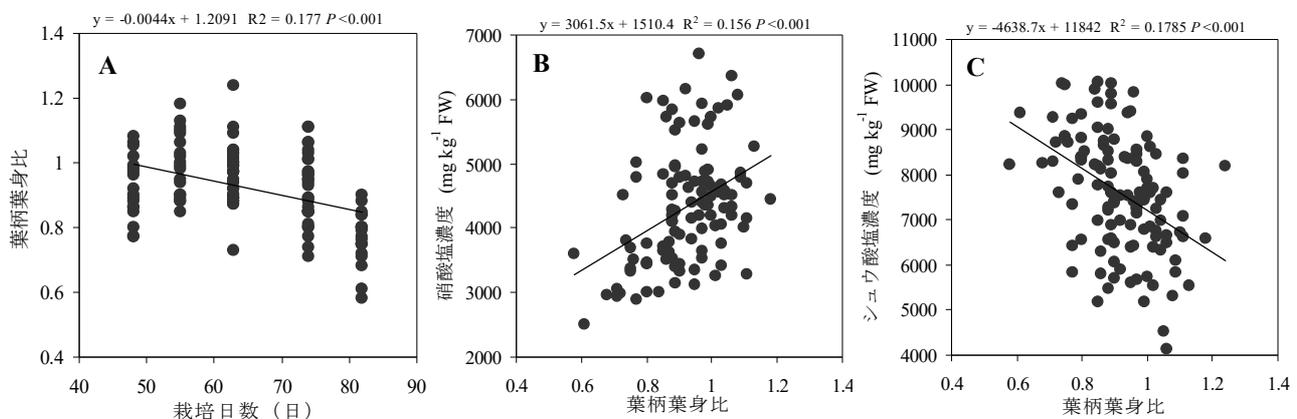
(4) 積算日射量と硝酸塩・シュウ酸塩濃度との相関関係

雨よけハウスのある圃場の積算日射量は、播種後48日目は345.5 MJ m², 55日目に407.8 MJ m², 63日目に487.5 MJ m², 74日目に592.5 MJ m², 82日目に673.3 MJ m²だった(第7図, A).

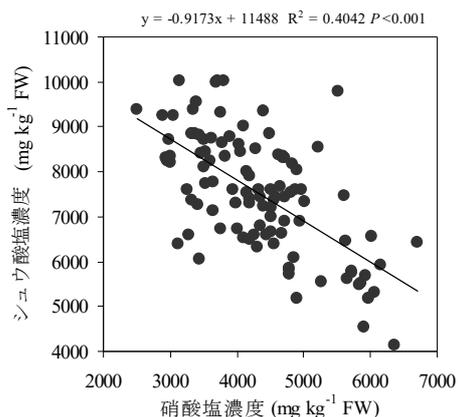
収穫までにかかる積算日射量に対しホウレンソウ各品種の硝酸塩濃度をプロットすると強い負の相関関係($R^2=0.5788$, $P<0.001$)が認められた(第7図, B). また同様に積算日射量に対しシュウ酸塩濃度をプロットすると、強い正の相関関係($R^2=0.499$, $P<0.001$)が認められた(第7図, C).

(5) クロロフィル含有量と硝酸塩・シュウ酸塩濃度との相関関係

収穫までにかかった栽培日数と、最大葉の葉身におけるクロロフィル含有量をプロットしたところ、非常に強い正の相関関係($R^2=0.8028$, $P<0.001$)が認められた(第8図, A). すなわち、‘温品’, ‘万葉’, ‘若草’などの早生品種の最大葉の葉身のクロロフィル含有量はそれぞれ30.7, 33.4, 33.8だったのに対し、‘ピロフレ’, ‘キング オブ デンマーク’, ‘くろうま’などの晩生品種のクロロフィル含有量はそれぞれ57.8, 58.6, 67.6であった.



第9図 冬作(2003年10月25日播種)におけるホウレンソウ122品種の収穫時の最大葉の葉柄葉身比(A), 葉柄葉身比とシュウ酸塩濃度(B)および硝酸塩濃度(C)との相関関係. 各ドットはホウレンソウ品種の各々の値を示す.



第10図 冬作(2003年10月25日播種)におけるハウレンソウ122品種の硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度との相関関係. 各ドットはハウレンソウ品種の各々の値を示す.

最大葉の葉身におけるクロロフィル含有量に対し各品種の硝酸塩濃度をプロットすると両者の間には強い負の相関関係($R^2=0.5919$, $P<0.001$)が認められた(第8図, B). また同様にクロロフィル含有量に対しシュウ酸塩濃度をプロットすると, 強い正の相関関係($R^2=0.536$, $P<0.001$)が認められた(第8図, C).

(6) 葉柄葉身比と硝酸塩・シュウ酸塩濃度との相関関係

収穫までにかかった栽培日数と, 収穫時の最大葉の葉柄葉身比をプロットしたところ, 緩い負の相関関係($R^2=0.177$, $P<0.001$)が認められた(第9図, A). すなわち, ‘マッスル’, ‘ニューアジア’, ‘ホークス 203’などの早生品種の葉柄葉身比はそれぞれ 1.11, 1.13, 1.18 だったのに対し, ‘ビロフレー’, ‘ノーベル’, ‘改良バイキング’などの晩生品種の葉柄葉身比はそれぞれ 0.61, 0.68, 0.71 だった.

葉柄葉身比に対し各品種の硝酸塩濃度をプロットすると緩い正の相関関係($R^2=0.156$, $P<0.001$)が認められた(第9図, B). また同様に葉柄葉身比に対しシュウ酸塩濃度をプロットすると, 両者の間には緩い負の相関関係($R^2=0.1785$, $P<0.001$)が認められた(第9図, C).

(7) 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度との相関

関係

ハウレンソウ122品種の硝酸塩濃度に対しシュウ酸塩濃度をプロットすると, 負の相関関係($R^2=0.4042$, $P<0.001$)が認められた(第10図). 硝酸塩濃度がそれぞれ 2511, 2852, 2900 mg kg^{-1} FW と 3000 mg kg^{-1} FW 以下と低かった ‘ビロフレー’, ‘バルカン’, ‘黒葉ミンスターランド’などの品種は, シュウ酸塩濃度がそれぞれ 9378, 8367, 9240 mg kg^{-1} FW と 8000 mg kg^{-1} FW 以上と高かった. 逆に硝酸塩濃度それぞれ 6360, 5909, 5964 mg kg^{-1} FW と 6000 mg kg^{-1} FW 前後と高かった ‘温品’, ‘禹城大葉’, ‘万葉’などの品種のシュウ酸塩濃度は, それぞれ 4145, 4529, 5162 mg kg^{-1} FW と 5000 mg kg^{-1} FW 前後と低かった.

4. 考察

本研究では栽培期間中に草丈 25cm となる 122 品種のハウレンソウを雨よけハウスで栽培して, 環境要因(栽培日数, 有効積算温度, 積算日射量)と遺伝的要因(最大葉の葉柄葉身比, 最大葉の葉身のクロロフィル含有量)に注目し, それらと硝酸塩・シュウ酸塩濃度との相関関係を調べた. 冬期栽培において栽培日数に対し硝酸塩濃度は強い負の相関($R^2=0.583$, $P<0.001$)を, 逆にシュウ酸塩濃度は正の相関($R^2=0.5002$, $P<0.001$)を示した(第5図). 前節で, 同室素供給下で4つの作期(冬, 春, 夏, 秋)にわたってハウレンソウ182品種を栽培したところ, 植物体可食部全体の相対硝酸塩濃度は相対栽培日数に緩やかに負の相関関係を示したのに対し, 相対シュウ酸塩濃度は相対栽培日数と強い正の相互関係を示した(Kaminishi and Kita, 2006)ことを支持する結果である. 以上のことは, 早生品種では硝酸塩濃度は高いがシュウ酸塩濃度は低く, 逆に晩生品種では硝酸塩濃度は低いがシュウ酸塩濃度は高くなる傾向があることを示している.

2つの環境要因, 有効積算温度と積算日射量に対し, 硝酸塩濃度は負の相関(それぞれ $R^2=0.5651$, $P<0.001$, $R^2=0.5788$, $P<0.001$)を, シュウ酸塩濃度は逆に強い正の相関関係(それぞれ $R^2=0.5238$, $P<0.001$, $R^2=0.499$,

$P<0.001$)を示した(第6図, B, C; 第7図, B, C). また有効積算温度より, 積算日射量のほうが栽培日数に対しより直線的なプロファイルを示した(第6図, A; 第7図, A). 以上のことから, 今後ホウレンソウの栽培計画を考えると, 積算日射量を参考にできるかもしれない.

栽培日数と最大葉の葉身におけるクロロフィル含有量との間には強い正の相関関係($R^2=0.8028$, $P<0.001$)が認められた. このことは, 早生品種はクロロフィル含有量が少なく, 晩生品種はクロロフィル含有量が多いことを示している(第8図, A). また, クロロフィル含有量と硝酸塩濃度の間には負の相関関係($R^2=0.5919$, $P<0.001$)が(第8図, B), シュウ酸塩濃度との間には正の相関関係($R^2=0.536$, $P<0.001$)が認められた(第8図, C). 市販されていたホウレンソウにおいて硝酸イオン濃度が葉色(SPAD 値)と負の相関関係があるという報告(藤原ら, 2005)を支持するものである. 葉色を濃くするために, 窒素肥料を多量に施用する栽培方法があることから(阿部, 1985), クロロフィル含有量が多いと硝酸塩濃度が高いという見方があるが, 今回の結果からは, 同一施肥条件ならば, クロロフィル含有量の低い品種は硝酸塩濃度が高くシュウ酸塩濃度が低く, 逆にクロロフィル含有量の高い品種は硝酸塩濃度が低くシュウ酸塩濃度が高い傾向があることが示された.

葉柄と葉身における硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の違いは明瞭である, すなわち硝酸塩濃度は葉柄で高く葉身で低い, 一方シュウ酸塩濃度は葉柄で低く葉身で高い(Elia ら, 1998; Maynard ら, 1976; 刀称・内山 1989a; Santamaria ら, 1999). 本研究では, ホウレンソウ個体の葉柄と葉身の割合を, 最大葉における葉柄葉身比として表した. その結果, 栽培日数に対し葉柄葉身比は緩い負の相関関係($R^2=0.177$, $P<0.001$)が認められた. これは早生品種は比較的葉柄葉身比が大きい, すなわち葉柄が長い品種が多く, 晩生品種は葉柄葉身比の小さい, すなわち葉柄が短い品種が多いことが示された(第9図, A). また, 最大葉の葉柄葉身比と硝酸塩濃度との間には正の相関($R^2=0.156$, $P<0.001$)が, シュウ酸塩濃度との間には負の相関関係

($R^2=0.1785$, $P<0.001$)が認められた(第9図, B, C). これは, 葉柄と葉身におけるシュウ酸塩濃度および硝酸塩濃度の違いを反映しているものと考えられる. 刀称と内山(1989, a)も葉長に対する葉身長割合が高いほど, シュウ酸含量が多くなり, 逆に硝酸態窒素含量は少なくなる傾向を報告している. しかし, 本研究において, その相関関係は緩いもので, 最大葉の葉柄葉身比をもってして硝酸塩・シュウ酸塩濃度の多寡を識別するには至らないと考えられる.

硝酸塩濃度に対するシュウ酸塩濃度は負の相関関係($R^2=0.4042$, $P<0.001$)を示すものであった(第10図). この結果はホウレンソウにおいて硝酸塩とシュウ酸塩は互いに相対する役割を果たしている可能性を示唆する. また, 第II章第1節で示された, 4つの作期の硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度のスピアマンの順位相関解析を行ったところ, 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の間には緩い負の相関関係があることが示された(Kaminishi and Kita, 2006)ことを支持するものである. このことは, 硝酸塩は窒素代謝の最初の産物であり(榊原・杉山, 1999), シュウ酸塩は炭素代謝の最終産物の1つであり小囊に蓄積される(Raven and Smith, 1976; 米山・建部, 1992; 堀江, 2008)であり, 細胞内のシュウ酸塩の量は植物の齢が増えると共に増加することが関連する可能性がある. すなわち生育の早い早生品種は硝酸塩を比較的多量に溜め込み, シュウ酸塩をあまり蓄積しないうちに収穫適期をむかえるが, 成育の遅い晩生品種は, 硝酸塩をあまり貯蔵する能力がなく, 収穫適期に達するまでにシュウ酸塩を比較的多量に蓄積している傾向があることを示していると考えられる.

以上の結果から, ホウレンソウの冬期栽培において, 同一施肥であるならば, 葉柄が比較的長く, クロロフィル含有量の低い早生品種は高硝酸塩・低シュウ酸塩濃度を示し, 葉柄が比較的短く, クロロフィル含有量の高い晩生品種は低硝酸塩・高シュウ酸塩濃度を示すことが明らかとなった. また, ホウレンソウの生育状況を有効積算温度や積算日射量を指標として表せる可能性が示唆された.

第III章 ホウレンソウの硝酸塩濃度および シュウ酸塩濃度に及ぼす 窒素施用量と灌水量の影響

1. 緒言

第II章第1節および第2節において、ホウレンソウの硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の4作期の季節変動と品種間差異の要因を解析した結果、硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度には負の相関関係が存在することを認め、両者が生理的には相互に拮抗関係にあることを明らかにした。しかし、両者を共に低減化する技術が求められている。

植物体内の硝酸塩濃度については、米国およびヨーロッパ諸国を中心に1970年代から低減化のための研究開発が進められてきた。これまでに土耕栽培において肥料の種類、窒素施用量および光強度等が植物体内の硝酸塩濃度に強く影響することが明らかにされ、また、それらの要因を様々に組み合わせた硝酸塩低減化技術も開発されている(Bremer, 1982; Cantliffe, 1972; Muramoto, 1999; 建部, 1999; 篠原ら, 2007a, b)。しかし、それらの技術により硝酸塩濃度は低減できるものの、作業が煩雑で収量まで低下して、経済性が伴わないなど、実用性に欠ける技術が多い(Bremer, 1982; Cantliffe, 1972; Muramoto, 1999)。一方、土耕栽培のホウレンソウにおけるシュウ酸塩低減化技術についての実用的な研究はほとんど実施されていない。

現在、我が国では、地域の気象条件を生かした作型分化が進み、年間を通してホウレンソウが栽培されている。いずれの地域においても作期により日長・温度適応性の異なる品種を適切に使い分けられている(香川, 1991; 香川, 2001)。しかし、これはあくまでも経済性・栽培特性にのみ注目した品種選定であり、ホウレンソウの品質面、特に硝酸塩濃度やシュウ酸塩濃度に着目して品種が選定されているわけではない。

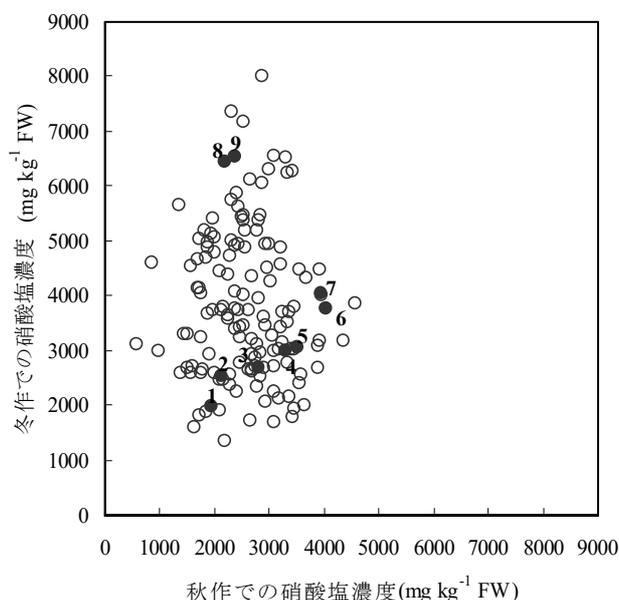
そこで、本研究では、ホウレンソウにおける硝酸塩濃度および水溶性シュウ酸塩濃度の低減化栽培技術を開発するため、主要なホウレンソウ9品種を用いて、窒素施用量および灌水量がホウレンソウの生育特性、植物体内の硝酸塩濃度およびシュウ酸塩濃度にどのよ

うな影響を及ぼすのかについて検討した。

2. 材料および方法

(1) 供試品種

秋作(2002年9月10日播種)および冬作(2002年10月25日播種)において窒素施肥量が 1 kg a^{-1} で栽培した時に、硝酸塩濃度が安定して低かった‘ドーバー’(渡辺採種場(株))および‘アトラス’((株)サカタのタネ), $3000\text{ mg kg}^{-1}\text{ FW}$ の‘トライ’(タキイ種苗(株)), ‘山形赤根’(山形県種苗(株))および‘ミストラル’((株)サカタのタネ), $4000\text{ mg kg}^{-1}\text{ FW}$ の‘万葉’(ナント種苗(株))および‘イーハトーブ’(武蔵野種苗園(株)), また、秋作では低い値を示すが、冬作では $6000\text{ mg kg}^{-1}\text{ FW}$ 以上を示す‘リード’((株)サカタのタネ)および‘アンナ’(タキイ種苗(株))の計9品種を供試した(第11図)。なお、‘万葉’および‘イーハトーブ’は早生、



第11図 秋作と冬作での硝酸塩濃度分布

秋作(2002年9月10日播種)と冬作(2002年10月25日播種)におけるホウレンソウ146品種の可食部における硝酸塩濃度の分布パターン。各ドットはいずれも個々の品種のデータを示す。黒丸は今回供試した品種を示す。

1. ‘アトラス’; 2. ‘ドーバー’; 3. ‘トライ’; 4. ‘山形赤根’; 5. ‘ミストラル’; 6. ‘万葉’; 7. ‘イーハトーブ’; 8. ‘アンナ’; 9. ‘リード’

それ以外の品種はすべて晩生品種である(Kaminishi and Kita, 2006)。また, ‘万葉’は東洋系 F1 品種, ‘山形赤根’は東洋系固定品種, ‘アトラス’, ‘アンナ’, ‘リード’は東洋系×西洋系 F1 品種, ‘ドーバー’, ‘トライ’は西洋系 F1 品種, ‘イーハトーブ’, ‘ミストラル’は雑種 F1 品種である。

(2) 栽培方法

2003年9月19日に播種した。第II章と同様に神奈川県農業技術センター圃場内の雨よけハウス(腐植質黒色黒ボク土造成層・前作タマネギ)内で栽培した。栽培にあたっては, 2003年6月19日に熱水処理(200 L m⁻²) (北, 2003; Kitaら, 2003; 北・岡本, 2004)を行い, 2003年8月31日まで透明ポリフィルム(0.75 mm 厚)による太陽熱消毒を行った。処理後は, 施肥・耕うんした後, 幅 1.2 m, 高さ 20 cm の栽培ベッドを作った。施肥量は定法に従って土壌診断を行い EC と pH を測定した後, 苦土石灰で pH6.5 に調整した後, 化成肥料(燐加安 42 号, N:P₂O₅:K₂O=14:14:14%, 朝日工業社製)を試験区の窒素施用条件に合わせて施肥した。なお, 堆肥等を含む有機質資材は, 有効態窒素の溶出量が安定しないため使用しなかった。播種は催芽処理後にした。栽培は, 栽培ベッドに, 株間 5 cm, 条間 15 cm の 6 条, 一カ所 3 粒ずつの点播とした。なお, 播種前日に, 各試験区とも同一の土壌水分条件となるよう 1 m² 当たり 3 L の灌水をした。播種直後に灌水と立枯病予防を兼ねてヒドロキシイソキサゾール液剤(商品名: タチガレン, 三共アグロ社製)およびフルトラニル水和剤(商品名: モンカット, 日本農薬社製)の混合液を 1 m² 当たり 3 L 土壌表面に散布した。その後, 本葉

2~3 枚まで生育した 2003 年 9 月 30 日に生育のそろった株を 1 株残して間引し, 灌水チューブ(商品名: エバフロー, 三井化学社製)を用いて 1 m² 当たり 3 L 灌水した。

なお, 栽培期間中の平均気温は 17.9°C, 最高気温は 22.6°C, 最低気温は 13.8°C であった。

(3) 試験区の設定

窒素施用量については, 窒素成分で慣行の 1 kg a⁻¹ の「標準施肥区」および慣行の 1/2 とした 0.5 kg a⁻¹ の「半量施肥区」の 2 水準, また灌水量については「標準灌水区」と「多灌水区」の 2 水準をそれぞれ組み合わせ設定した。灌水処理区については, ベッド中央に透明アクリル板(1×5 m)を 60 cm 埋設して設置し, 標準灌水区と多灌水区を区分した。標準灌水区については, 間引き後の 10 月 5 日に灌水チューブを用いて 1 m² 当たり 5 L 灌水した。多灌水区では, 標準灌水区の灌水に加えて, 他の試験事例(Breimer, 1982)に基づいて収穫の 4 日前となる 2003 年 10 月 16 日に灌水チューブを用いて 1 m² 当たり 10 L 追加灌水した。各試験区とも, 1 品種につき 1 処理 1 条 7 株とし, この 3 条で 1 試験区(0.21 m², 21 株)とした。すべての品種および処理について 3 試験区ずつ設定した。

(4) サンプルング

本研究では第II章第1節と同様に, 晴天時の午前9時から10時までにサンプルングを行った。サンプルング対象は, 各品種とも試験区の 50%以上の株が市場流通基準である草丈 25 cm に達した 2003 年 10 月 20 日もしくは 10 月 23 日に行った。1 試験区内の各条 7 株の

第6表 品種, 窒素施肥量および灌水量における3元配置分散分析結果

項目	品種 (A)	窒素施肥量 (B)	灌水量 (C)	交互作用			
				(A×B)	(A×C)	(B×C)	(A×B×C)
草丈	** ^z	ns	ns	ns	ns	ns	ns
葉柄葉身比	**	ns	ns	ns	ns	ns	*
1株重	**	*	ns	ns	ns	ns	ns
クロロフィル含有量	**	ns	**	ns	*	ns	ns
硝酸塩濃度	**	**	**	**	**	**	**
シュウ酸塩濃度	**	ns	**	ns	ns	**	ns

^z**および**は, それぞれ5, 1%レベルの有意差ありおよびnsは有意差なしを示す。

中から平均的な草丈を示す株を1株ずつ選び、1試験区につき3株収穫し、1品種につき3反復設定した各処理区から合計9株を、鋏を用いてそれぞれ胚軸直上の地際部で切り取り採取した。本研究では、植物体全体としての硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度を得ることとし、そのために葉柄と葉身は切り離さずに根部を切断した可食部全体を調査対象とした。新鮮重を正確に測定するため、植物体は水洗せず、子葉および最大葉より外側の葉も摘除しなかった。

採取した植物体は、1株ごとに草丈、最大葉の葉柄長および新鮮重を測定するとともに、クロロフィル計 (SPAD-502, ミノルタ社製) を用いて最大葉の葉身中央部の SPAD 値を測定した後、個別別にビニール袋に詰め、 -20°C で保存した。

(5) 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の定量

本研究においても、硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度は第II章第1節と同様に HPLC を用い、1ステップで測定した。結果は1品種につき9株分の各硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の平均値をその品種の値とし、硝酸塩もしくはシュウ酸塩の mg kg^{-1} FW として表した。

(6) データ解析

データは JUSE-StatWorks version 4.0 (日本科学技術研修所社製) と EXCEL 統計 (V.5.0: (株) エスミ社製) を用いて統計解析を行った。

第7表 窒素施用量及び灌水量の差がハウレンソウの生育に及ぼす影響

品種	草丈(cm)				葉柄葉身比			
	標準施肥 ^x		半量施肥		標準施肥		半量施肥	
	標準	多灌水	標準	多灌水	標準	多灌水	標準	多灌水
アトラス	31.8 ab ^y	30.4	31.4	30.1 ab	0.94 a	0.92 ab	0.94 a	0.87 ab
ドーバー	32.0 ab	32.2	32.2	30.4 ab	0.98 a	0.86 b	0.82 b	0.89 ab
トライ	31.8 ab	33.1	32.5	32.8 a	0.93 a	0.99 a	0.96 a	0.86 ab
山形赤根	29.0 ab	31.2	29.3	29.4 ab	0.85 ab	0.92 ab	0.94 a	0.84 ab
ミストラル	31.8 a	33.8	32.2	31.6 ab	0.87 ab	0.89 ab	0.92 a	0.89 ab
万葉	31.7 ab	30.4	30.9	30.2 ab	0.94 a	0.89 ab	0.92 a	0.89 ab
イーハトーブ	29.4 b	29.2	29.6	30.4 ab	0.73 b	0.72 b	0.78 c	0.81 b
アンナ	31.0 ab	31.6	28.4	27.6 b	0.97 ab	0.97 ab	0.88 a	1.00 a
リード	30.7 ab	31.2	31.6	31.5 ab	1.02 a	0.90 ab	1.00 a	0.95 ab
	* ^z	ns	ns	*	**	**	**	*

品種	1株重(g)				クロロフィル含有量(SPAD)			
	標準施肥		半量施肥		標準施肥		半量施肥	
	標準	多灌水	標準	多灌水	標準	多灌水	標準	多灌水
アトラス	22.6	21.0	20.0 ab	20.3	32.9 c	30.7 b	31.9 c	32.8 b
ドーバー	23.0	25.7	28.8 a	23.9	35.8 ab	36.7 a	37.1 ab	34.8 ab
トライ	23.0	26.3	23.6 ab	22.2	31.3 c	32.2 ab	31.6 cd	30.9 b
山形赤根	21.6	23.0	19.1 ab	22.1	35.3 ab	33.6 ab	33.0 bcd	32.8 b
ミストラル	24.9	29.3	24.0 ab	22.0	38.7 a	36.4 a	39.0 a	36.3 a
万葉	22.1	17.3	17.8 ab	17.1	32.4 bc	30.5 b	32.7 bc	31.1 b
イーハトーブ	24.3	25.6	22.6 ab	21.9	33.2 bc	34.4 ab	34.1 abc	32.6 ab
アンナ	19.8	22.9	15.3 b	15.6	33.3 bc	34.5 a	34.5 abc	33.5 ab
リード	21.7	24.9	20.9 ab	23.7	32.5 bc	32.8 ab	33.0 bc	31.4 b
	ns	ns	*	ns	**	**	**	**

^z各処理区内の品種間において、*および**は、それぞれ5,1%レベルの有意差ありおよびnsは有意差なしを示す。^y異なる肩字を付した平均値間にTukey法による5%レベルでの有意差が認められることを示す。^x標準施肥: 窒素成分で慣行の 1 kg a^{-1} 施用 半量施肥: 窒素成分で 0.5 kg a^{-1} 施用。

第8表 窒素施用量及び灌水量の差がホウレンソウの硝酸塩・シュウ酸塩濃度に及ぼす影響

品種	硝酸塩濃度(mg kg ⁻¹ FW)				シュウ酸塩濃度(mg kg ⁻¹ FW)			
	標準施肥 ^x		半量施肥		標準施肥		半量施肥	
	標準	多灌水	標準	多灌水	標準	多灌水	標準	多灌水
アトラス	4383 e ^y	2392 c	3111 c	2805 d	6642 ab	6275 b	5142 b	5150 b
ドーバー	5344 bc	3905 bc	4302 ab	4174 ab	6495 ab	6084 bc	6337 b	5470 b
トライ	4325 cd	5579 a	4932 a	3006 c	6267 ab	5492 bc	6033 b	5992 ab
山形赤根	3849 d	3273 c	4968 a	4247 ab	5983 b	5421 bc	6352 b	5940 ab
ミストラル	5497 ab	4339 ab	5131 a	4774 a	8950 a	8369 a	9036 a	7652 a
万葉	5734 ab	3210 c	3435 abc	2129 d	5293 b	4962 c	5426 b	4212 b
イーハトーブ	6273 a	3790 bc	4070 ab	4009 bc	7117 ab	6517 ab	6325 b	6167 ab
アンナ	5023 b	4779 ab	2916 bc	3248 cd	6450 ab	5900 bc	6275 b	6168 ab
リード	5333 b	5205 ab	4413 ab	3671 bc	6167 b	6183 bc	6025 b	5958 ab
	**z	**	**	**	**	**	**	**

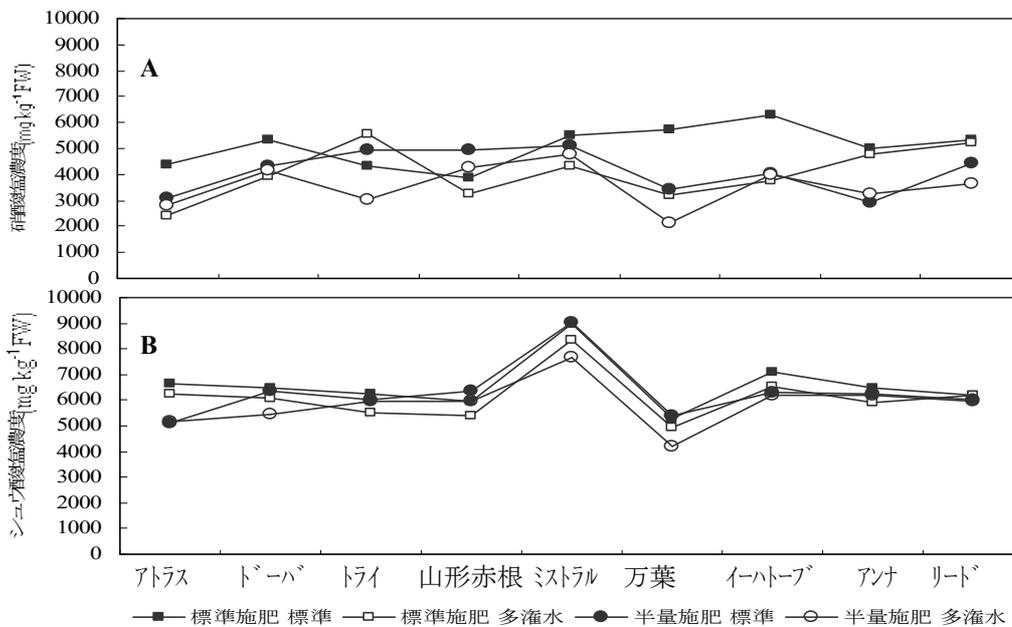
^z各処理区内の品種間において、*および**は、それぞれ5, 1%レベルの有意差ありを示す。^y異なる肩字を付した平均値間にTukey法による5%レベルでの有意差が認められることを示す。^x標準施肥：窒素成分で慣行の1 kg a⁻¹施用 半量施肥：窒素成分で0.5 kg a⁻¹施用。

3. 結果

(1) 処理区間の分散分析

第6表に主要な生育特性に関する品種、窒素施用量および灌水量の3処理についての3元配置分散分析結果を示した。すべての測定項目について品種間には1%レベルで有意差が認められた。また、窒素施用量間については1株重に5%レベルの、硝酸塩濃度に1%レベ

ルの有意差が認められ、灌水量間ではクロロフィル含有量、シュウ酸塩濃度および硝酸塩濃度について1%レベルの有意差が認められた。また、交互作用については、クロロフィル含有量では品種と灌水量に5%レベルの、シュウ酸塩濃度では施肥量と灌水量に1%レベルの、および葉柄葉身比では品種、窒素施用量および灌水量の3項目間において5%レベルの有意差が検出された。硝酸塩濃度についてはすべての2項目間組



第12図 秋作での各処理区ごとの硝酸塩およびシュウ酸塩濃度の品種間差異

秋作(2003年9月19日播種)におけるホウレンソウ9品種の可食部における各処理区ごとの硝酸塩(A)およびシュウ酸塩濃度(B)の分布パターン。標準施肥：窒素成分で慣行の1 kg a⁻¹施用, 半量施肥：窒素成分で0.5 kg a⁻¹使用。

合せおよび3項目間で1%レベルの交互作用が認められ、品種、窒素施用量および灌水量が相互に作用して植物体の硝酸塩濃度に影響していることが示唆された。

第7表に品種別の草丈、最大葉の葉柄葉身比、1株重、最大葉の葉身のクロロフィル含有量を、第8表および第12図に硝酸塩およびシュウ酸塩濃度の平均値を示した。各処理別に見てみると、草丈、葉柄葉身比および1株重については、‘イーハトーブ’の葉柄葉身比が処理区にかかわらず他品種より有意に低いこと以外には特徴的な品種間差が認められなかった。ただし、有意性は検出されないものの、葉柄葉身比が高いと株全体のシュウ酸塩濃度は低くなる傾向が認められた。クロロフィル含有量については、‘ミストラル’が有意に高く、‘アトラス’が有意に低い値を示し、それ以外の品種はいずれも中間的な値を示した。また、シュウ酸塩濃度については‘ミストラル’が他品種より有意に高い値を、また、‘万葉’の標準施肥区および半量施肥区の多灌水区で、有意に低い値を示した。その他の品種については、いずれもこれらの中間的な値を示した。一方、硝酸塩濃度については、すべての処理区に

おいても9品種間に有意差が検出された。標準灌水区と多灌水区で比べると、‘トライ’および‘アンナ’以外の7品種では、窒素施用量にかかわらずすべての多灌水区での硝酸塩濃度が低下した。

(2) 品種別の処理区間有意差検定

上記1項で得られた結果は、窒素施用量および灌水量の効果を明らかにするためには、品種ごとに処理区の解析を行う必要があることを示している。そこで、窒素施要領および灌水量の2因子2水準について品種ごとに2元配置の分散分析を適用し、その結果を第9表に示した。草丈では‘アンナ’に窒素施用量間で5%レベルの有意差が認められた。葉柄葉身比については‘リード’で灌水量間に5%レベルの、‘トライ’と‘山形赤根’で窒素施用量と灌水量の交互作用に5%レベルの有意差が認められた。1株重では‘アンナ’で窒素施用量間に5%レベルの有意差が認められた。クロロフィル含有量では‘山形赤根’で窒素施用量間に5%レベルの、‘ミストラル’で灌水量間に1%レベルの有意差が認められた。シュウ酸塩濃度については‘アト

第9表 品種別の草丈、葉柄葉身比、1株重、クロロフィル含量、シュウ酸塩及び硝酸塩濃度に関する2元配置分散分析結果

品 種	草 丈			葉柄葉身比			1 株 重		
	施肥量 (A)	灌水量 (B)	交互作用 (A×B)	施肥量 (A)	灌水量 (B)	交互作用 (A×B)	施肥量 (A)	灌水量 (B)	交互作用 (A×B)
アトラス	ns ²	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
ドーバー	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
トライ	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
山形赤根	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
ミストラル	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
万 葉	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
イーハトーブ	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
アンナ	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
リード	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns

品 種	クロロフィル含有量			硝酸塩濃度			シュウ酸塩濃度		
	施肥量 (A)	灌水量 (B)	交互作用 (A×B)	施肥量 (A)	灌水量 (B)	交互作用 (A×B)	施肥量 (A)	灌水量 (B)	交互作用 (A×B)
アトラス	ns	ns	ns	ns	**	*	*	ns	ns
ドーバー	ns	ns	ns	ns	**	*	ns	ns	ns
トライ	ns	ns	ns	**	*	**	ns	ns	ns
山形赤根	*	ns	ns	**	*	ns	ns	ns	ns
ミストラル	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
万 葉	ns	ns	ns	**	**	*	ns	*	ns
イーハトーブ	ns	ns	ns	*	*	*	*	ns	ns
アンナ	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
リード	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns

²*および**は、それぞれ5, 1%レベルの有意差ありおよびnsは有意差なしを示す。

ラス’ と ‘イーハトープ’ で窒素施用量間に, ‘万葉’ で灌水量間に 5%レベルの有意差が認められた。しかし, いずれについても相互に関連性が認められる有意性は検出されなかった。

これに対して硝酸塩濃度の窒素施用量の差について標準灌水区と多灌水区を比較してみたところ, ‘アトラス’, ‘ドーパー’ および ‘ミストラル’ 以外の品種に, 窒素施用量全体では 1 あるいは 5%レベルで有意差が認められた。灌水量について ‘ミストラル’, ‘アンナ’ および ‘リード’ 以外のすべての品種において 5 または 1%レベルの有意差が検出された。また ‘山形赤根’, ‘ミストラル’, ‘アンナ’, ‘リード’ 以外の品種に窒素施用量と灌水量の交互作用に 5 または 1%の有意差が検出された。

4. 考察

本研究では, ホウレンソウの硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の低減化技術を開発するため, 品種, 窒素施用量および灌水量の差が硝酸塩濃度およびシュウ酸塩濃度に及ぼす影響について検討した。同一施肥量(N 1kg a⁻¹)で試験した秋作(2002年9月10日播種)および冬作(2002年10月25日播種)において特徴的な硝酸塩濃度を示す9品種を選び(第11図), 両者の中間にあたる9月19日に播種した。窒素施用量は「標準施用区(N 1kg a⁻¹)」と「半量施用区(N 0.5kg a⁻¹)」を設け, 灌水量に関しても「標準区」と「多灌水区」を設けた。栽培期間中の標準区の灌水は4回合計 14 L m⁻², 多灌水区ではさらに収穫前4日前に 10 L m⁻²灌水し 24 L m⁻²灌水した。その結果, 草丈, 葉柄葉身比, 1株重などの生育特性, クロロフィル含有量およびシュウ酸塩濃度については, 試験区間の有意差を示す品種がほとんどなかった。また, 硝酸塩濃度については品種間差のみならず施肥量と灌水処理間にも有意な差が認められたことから, 施肥量を半減し, 灌水量を多くすることによって, 経済レベルでの品質低下を引き起こさずに硝酸塩濃度を低下させることができることが明らかになった。今回は, 2002年の秋作及び冬作で硝酸塩濃度について特徴的な値を示した典型品種を選んで供試したものの, シュウ酸塩濃度とは異なって, 処理内容にかかわらず

常に低いあるいは高い硝酸塩濃度を示す品種は存在しなかった。

食味に強く影響し(香川, 1997), また尿路結石等の誘導要因ともなるといわれているシュウ酸塩濃度については(Libert and Franceschi, 1987; 香川, 1997), 本実験結果から施肥量あるいは灌水量にかかわらず低い値を示すホウレンソウ品種の存在が明らかになった。硝酸塩とシュウ酸塩の品種間差異については, 刀称と内山(1989a)も報告しているように, 葉柄の長い品種ほど硝酸塩濃度が高くなり, シュウ酸塩濃度が低くなる傾向を示すことが知られている。供試した品種では葉柄葉身比での結果は, 使用品種全体では有意性が認められないものの, 葉柄が長く葉柄葉身比が高い場合に株全体のシュウ酸塩濃度が低い傾向を示した。すなわち, 葉柄の長い東洋系品種である ‘万葉’ は他と比べて有意にシュウ酸塩濃度が低く, 一代交雑品種である ‘ミストラル’ は有意に高いシュウ酸塩濃度を示した。

Kaminishi and Kita(2006)および第II章では, 生育スピードの速い東洋系品種ほど硝酸塩濃度は高くシュウ酸塩濃度は低いこと, 逆に生育スピードの遅い西洋系品種では硝酸塩濃度は低いがシュウ酸塩濃度が高いことを明らかにしている。これらのことは, 品種選択によりシュウ酸塩濃度低減化が可能であること, すなわちシュウ酸塩濃度低減化を図るには, 基肥の施肥量や灌水量などの栽培技術と同時に, 適切な品種を選んで栽培することも重要な手段であることを示している。

硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度との関係については, 今回, 興味深い結果が得られた。すなわち, 硝酸塩濃度に関しては, 「標準施肥+多灌水区」, 「半量施肥+標準灌水区」および「半量施肥+多灌水区」が「標準施肥+標準灌水区」より有意に低いことが認められ, 収穫4日前の多灌水によって硝酸塩濃度を低減化できることが明らかになった。この結果から, 収穫数日前の多灌水による硝酸塩低減化効果は, 土壌の残存硝酸体窒素が多い場合により顕著に現れることが示された。したがって, ホウレンソウの硝酸塩濃度は窒素施用量および灌水量の影響を強く受けること, および通常の施肥・栽培条件であれば少なくとも収穫4日前に十分な灌水を行うことによって植物体の硝酸塩濃度を有意に低下できることが明らかになった。

一方、シュウ酸塩濃度については、同じ品種であれば処理に関わりなく有意差は認められなかった。この結果は、ハウレンソウの地上部全体での硝酸態窒素含有率は窒素施用量の増加に伴い上昇するが、全シュウ酸量は処理区間で差は見られないという建部(建部, 1996; 建部, 1999)の報告を支持するものである。また、施肥量について、刀称と内山(1989b)のハウレンソウにおける3要素等量施用試験で、全シュウ酸塩含有量については施肥量による差はなく、硝酸態窒素含有量は多肥区で多かったと報告している。また、香川(香川, 1986)も同様の3要素等量施用試験で窒素欠乏区以外では全シュウ酸含有量は施肥量の影響を受けないことを報告している。また、灌水量に関する刀称と内山(1986b)の報告では土壌水分が多いほど株重は増加し、水溶性シュウ酸含有量は減少するものの乾物あたりの水溶性シュウ酸含有量は処理区間で差が見られないなど一定の結果は得られていない。今回得られた試験成績および上記の他の研究事例を総合すると、雨よけハウス栽培における収穫適期のハウレンソウのシュウ酸塩濃度については適切な品種選定により、また硝酸塩濃度は、窒素施用量および生育後期の灌水管理により、同時に低減化できるものと考えられた。

第 IV 章 固定品種特性と硝酸塩・シュウ酸塩濃度

第 1 節 日本で流通している固定品種とその交雑品種における硝酸塩・シュウ酸塩濃度の変動

1. 緒言

ホウレンソウは世界各国で栽培されているが、西アジアコーカサス地方の原産でイラン(ペルシャ)地方で古来より栽培されてきた。回教徒によりユーラシア大陸の東西に伝播された。ヨーロッパへは 11 世紀頃、アラビア、アフリカ北部を経てスペインに伝わり、その後ヨーロッパ諸国に分布し、ドイツでは 13 世紀、イギリス、フランスでは 16 世紀中葉頃から記録されている。特にオランダはホウレンソウの採種地として知られ、ヨーロッパの多くの品種がオランダで育種された。アメリカへは 1800 年代後期から 1900 年代初頭にヨーロッパから伝えられた。中国への伝来はこれより古く嘉祐録(627-649)に西国(ペルシャ)から僧侶によって伝えられたという記録がある。中国では南北いずれも栽培利用が盛んで、特に華北で品種が発達している。日本へは中国から品種が伝わり多識篇(1631)に記録が残っている。ホウレンソウは主に中国で育種されその後日本に伝えられた(熊沢, 1965; 香川, 1997)。

日本において、ユーラシア大陸の東に伝えられた「東洋系品種」と、主にオランダを中心とするヨーロッパやアメリカで育種された「西洋系品種」があり、第二次大戦後日本でこれらを交配して作られた「交雑品種」とに分けられる。東洋系品種は角種子で草姿は剣葉で欠刻が深く葉色は淡緑色で葉肉が比較的薄く根部が赤色を呈するのが特徴である。主に秋播き用として用いられた(香川, 1997)。日本において古来品種分化はあまり進まず、「日本」や「山形赤根」などが品種として残っているが、べと病抵抗性がない、収量が少ないため現在ではあまり生産されていない。「禹城」は昭和 10 年に熊沢氏が華北済南から台湾に導入し、その後福岡県と奈良県で主に生産された品種である(熊沢, 1965)。西洋系品種は冬季極寒で春遅く、夏冷涼で日長の長い地帯に春播き品種として育成された品種群であ

る。葉型から葉身が滑らかなスムーズ、葉身に縮みがみられるセミサボイ、葉身に顕著な縮みがみられるサボイの 3 タイプがあるが、日本で主に栽培されているのは剣葉のスムーズタイプのもので、丸種丸葉で葉の縮みの少ないセミサボイタイプのものである。「ミンスターランド」はドイツのミンスターランド地方で育成された品種で剣葉で形態は東洋種に似ている。「ピロフレー」は古くフランスで育成された品種で、丸種で丸葉で葉の縮みが少ない品種である。「ノーベル」は 20 世紀初頭オランダで選抜された品種で大葉で晩抽性で葉肉が厚い。「キング オブ デンマーク」は北緯 55 度、最長日長 17 時間のデンマークにおいて 20 世紀初頭に育成された最も晩抽性の大葉で葉色は濃く丸葉の品種である。交雑品種として、「次郎丸」は昭和初期愛知県稲沢村次郎丸で日本品種と西洋系品種(おそらく「ホーランドディア」)との自然交雑により生じた品種で、生育は日本品種にくらべて早く旺盛であり、秋播き年内取りに使用されていた。「豊葉」は千葉農試で「ミンスターランド」と日本品種の交雑から育成された品種で秋播きに使われていた。「ニューアジア」(別名「永池早生」)は「禹城」とピロフレー系の品種との F1 利用で名称登録された品種である。「新日本」は「次郎丸」と「禹城」との自然交雑により生じた品種である。「温品」は広島の本本為一氏により日本品種と「ホーランドディア」、「ノーベル」等の自然交雑から育成され名称登録された極早生品種である。「若草」は奈良農試で「次郎丸」より選抜した品種である。「伊達在来」は「ピロフレー」系の品種から育成された(熊沢, 1965; 野菜の保存品種, 1981)。

現在日本では主に周年栽培にむけて晩抽性、耐病性(べと病)や収量性を主眼に育成された F1 品種が主流を占めている(香川, 2001)が、ホウレンソウ品種の基本的な性質を調査するには上記の固定品種やその改良品種の性質を調査することは重要である。

品種特性の面からその硝酸塩・シュウ酸塩濃度の違いを調査した事例は少ない。この節の目的は、現在流通の主流となっている F1 品種の基となる固定品種の性質を調べるため、主に現在日本で市販されているホウレンソウの固定品種およびその改良品種 31 品種を 4 年作、3 年間栽培し、その硝酸塩濃度およびシュウ

酸塩濃度の特徴を調査することである。

2. 材料および方法

(1) 供試品種

市販固定品種とその改良品種として‘豊葉(あじ王)’(アタリヤ農園(株)), ‘日本’, ‘バイキング’, ‘ピロフレ’, ‘豊葉(まほろば)’((株)サカタのタネ), ‘キングオブデンマーク’(カネコ種苗(株)), ‘愛知次郎丸’, ‘禹城大葉’, ‘改良バイキング’, ‘次郎丸大葉’, ‘新日本大葉’, ‘若草大葉’(タカヤマシード(株)), ‘ニューアジア’(協和種苗(株)), ‘おいしい次郎丸’(山陽種苗(株)), ‘禹城’, ‘黒葉ミンスターランド’, ‘次郎丸’, ‘新日本’, ‘豊葉’, ‘若草’, (タキイ種苗(株)), ‘次郎丸(たける)’, ‘剣山’, ‘豊葉(むさし)’(トーホク(株)), ‘ノーベル’, ‘ミンスターランド’(日東農産(株)), ‘アジア’(丸種(株)), ‘温品’(広島市農林振興センター), ‘山形赤根’(山形県種苗(株)), ‘新仙台’(渡辺採種場(株))を供試した。当センター所蔵品種として‘山形赤根’から1985年から選抜して育成した‘神奈川選抜系統(針種)’を供試した。また‘伊達在来’を北海道上川試験場を通じ北海道西胆振農業普及センターから入手した(第10表)。ハウレンソウの分類は、野菜品種名鑑(2005), 香川(1991, 1997, 2001)に準じて行った。これらの品種を2002年冬作から2005年秋作までの12作同じロットの種子を供試したが、夏作において、2003年, 2004年, 2005年ともに、おもに抽台性の面から、‘禹城大葉’, ‘おいしい次郎丸’, ‘剣山’, ‘次郎丸(た

ける)’, ‘次郎丸大葉’, ‘新日本大葉’, ‘豊葉(あじ王)’, ‘豊葉(まほろば)’, ‘豊葉(むさし)’, ‘若草大葉’は栽培しなかった。

(2) 栽培方法

播種日は冬作として2002年10月25日, 2003年10月25日と2004年10月25日, 春作として2003年3月5日, 2004年3月5日と2005年3月5日, 夏作として2003年7月7日, 2004年7月7日, 2005年7月7日および秋作として2003年9月10日, 2004年9月10日と2005年9月10日に行った。神奈川県農業技術センター圃場(腐植質黒色黒ボク土造成層)に設置した第II章と同じ雨よけハウス3棟内で栽培した。2002年では7月30日, 2003年では6月19日, 2004年では6月18日, 2005年では6月20日に熱水処理(200 L m⁻²) (北, 2003; Kitaら, 2003; 北・岡本, 2004)を行い, 夏作終了後8月31日まで透明ポリフィルム(0.75 mm厚)による太陽熱消毒を行った。熱水土壤消毒後, 定法にしたがい土壤診断を行いECとpHを測定し, 土壤pHを6.5に合わせるため苦土石灰を施用し, 窒素レベルが1 kg a⁻¹となるよう化学肥料(燐加安42号, N:P₂O₅:K₂O=14:14:14%, 朝日工業社製)を施用した。有機肥料は予測不能な窒素供給の基となるため用いなかった。播種の1日前に土壤水分を均一化するため3 L m⁻²の灌水を行った。ハウレンソウの種子はすべての作期において催芽処理をした。幅120cm高さ20cmのベットに15 cm間隔で6条に5 cm間隔で3粒播種した。全ての作期において播種直後に灌水と立枯病予防を兼ねてヒドロキシイソキサザール液剤(商品名: タチガ

第10表 供試品種の分類と早晩性²

系統	品種名	生育速度	系統	品種名	生育速度	系統	品種名	生育速度
東洋系	禹城	F	交雑系	愛知次郎丸	F	交雑系	温品	F
	神奈川選抜(角種)	M		アジア	F		豊葉	M
	日本	F		禹城大葉	F		豊葉(あじ王)	M
	山形赤根	M		おいしい次郎丸	M		豊葉(まほろば)	M
西洋系	改良バイキング	S	剣山	M	豊葉(むさし)	M		
	キングオブデンマーク	S	次郎丸	F	若草	F		
	黒葉ミンスターランド ¹	M	次郎丸(たける)	M	若草大葉	F		
	伊達在来	M	次郎丸大葉	F				
	ノーベル	S	新仙台	F				
	バイキング	S	新日本	F				
	ピロフレ	S	新日本大葉	M				
	ミンスターランド ¹	M	ニューアジア	F				

²早晩性の判定は第1表に準じる。

第11表 各作期における環境要因

環境要因	作期											
	冬作			春作			夏作			秋作		
	2002年	2003年	2004年	2003年	2004年	2005年	2003年	2004年	2005年	2003年	2004年	2005年
栽培期間 ¹⁾	95	82	60	51	52	54	35	47	39	37	35	39
平均気温(°C) ²⁾	6.8 a ^w	9.6 b	11.8 b **	9.7	11.5	10.9 ns	23.5 b	26.5 b	25.8 a **	19.9	20.9	20.9 ns
有効積算温度(°C) ³⁾	548.5 a	704.4 b	619.9 ab **	433.8	544.7	526 ns	806.3 a	1199 b	886 a **	732.6	661.7	767 ns
積算日射量(MJ m ⁻²) ⁴⁾	649.7 b	501.3 ab	440.3 a **	658.4	760.9	782.6 ns	454.7 a	901.8 c	611.9 b **	475.2 b	366.8 a	432.7 ab **

¹⁾播種日は各年とも冬作は10月25日、春作は3月5日、夏作は7月7日、秋作は9月10日である。²⁾栽培期間とはすべての品種が収穫されるまでの期間である。³⁾平均気温と有効積算温度と積算日射量は、雨よけハウスの設置してある圃場での値である。⁴⁾各値は平均値を示している。異なる肩字を付した平均値間に5%レベルでの有意差が認められることを示す。

レン、三共アグロ社製) およびフルトラニル水和剤(商品名: モンカット, 日本農薬社製)の混合液を1 m²当たり3 L 土壌表面に散布した。1品種につき3条7株(0.21 m²)21株を1試験区とし、3棟のビニールハウスを用いて3試験区設定した。試験区はビニールハウスの中にランダムに配置した。発芽後、最初の本葉が出てきたとき間引きをして1本立ちにした。灌水(3 L m⁻²)は収穫まで必要に応じて行った。

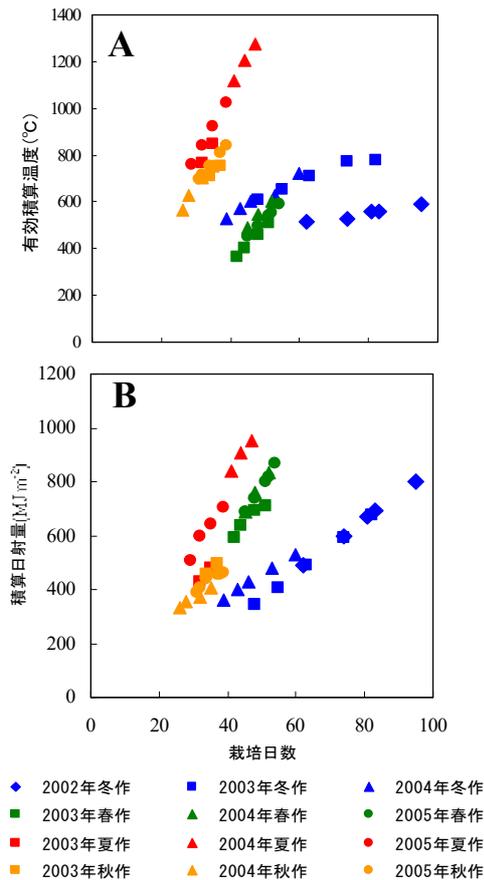
(3) 収穫とサンプリング

本研究では第II章, 第III章と同様に晴天時の午前9時から10時までにサンプリングを行った。サンプリング対象は、各品種とも試験区の50%以上の株が市場流通基準である草丈25 cmに達した日に行った。1試験区内の各条7株の中から平均的な草丈を示す株を1株ずつ選び、1試験区につき3株収穫し、1品種につき3反復設定した各処理区から合計9株を、鋏を用いてそれぞれ胚軸直上の地際部で切り取り採取した。本研究では、植物体全体としての硝酸塩濃度と水溶性シュウ酸塩濃度を得ることとし、そのために葉柄と葉身は切り離さずに根部を切断した可食部全体を調査対象とした。新鮮重を正確に測定するため、植物体は水洗せず、子葉および最大葉より外側の葉も摘除しなかった。採取後、草丈、生鮮重、最大葉の葉柄長、最大葉の葉身のクロロフィル含有量をクロロフィル計(SPAD-502, ミノルタ社製)で測定したのち1株ずつビニール袋に入れ直ちに-20°Cで保存した。

(4) 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の測定

本研究でも、硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の測定は、第II章第1節と同様に、HPLCを用い、1ステップで測定した。

結果は1品種につき9株分の各と硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の平均値をその品種の値とし、硝酸塩またはシュウ酸塩の mg kg⁻¹ FW として表した。



第13図 3ヶ年12作における各品種収穫日での有効積算温度(生育零点4°C)(A), 積算日射量(B)。播種日はいずれの年も冬作10月25日, 春作3月5日, 夏作7月7日, 秋作9月10日である。

(5) データ解析

データは JUSE-StatWorks version 4.0(日本科学技術研
修所社製)を用いて統計解析を行った。

(6) 気象情報の検索

栽培期間中の圃場での平均気温, 有効積算温度, 積算
日射量算出のために, 神奈川県農林水産情報センター
気象観測情報データベース ([http://web05.agri.
pref.kanagawa.jp/kisyu/](http://web05.agri.pref.kanagawa.jp/kisyu/)) から検索した。

3. 結果

(1) ホウレンソウの生育

本研究では硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の系統間
差異の要因を明らかにするため, 第II章と同一の窒素
レベル(1kg a⁻¹), 同一の播種日(冬作 10月25日, 春作 3
月5日, 夏作 7月7日, 秋作 9月10日)で3年間, 同
一の雨よけハウスで栽培した。本研究では, ホウレン
ソウの各グループを代表する固定品種およびその改良
品種 31 品種を用いて試験を行った(第10表)。

本研究では, 2002年冬作でのみ, 栽培最終日におい
ても, ‘改良バイキング’, ‘キング オブ デンマーク’,
‘黒葉ミンスターランド’, ‘ノーベル’, ‘バイキング’
が草丈が 20cm 以下であったが, 他の作期ではすべて
の品種が草丈 25cm 以上だった。

(2) 作期ごとの気温と日射の変化

第11表に2002年冬作から2005年秋作までの12作
の作期ごとにすべての品種が収穫されるまでの栽培期
間, 各収穫日における平均気温, 有効積算温度(生育零
点4°C)および積算日射量の平均値を示した。また, 第
13図に各収穫日における有効積算温度および積算日
射量についてプロットした。冬作において栽培日数に
対する有効積算温度の差は大きく, 特に2002年が2003
年, 2004年より200°C低く, より厳冬であった。また,
2004年の夏作は2003年と2005年より高い値を示した。
しかし, 春作秋作はほぼ同じ傾向を示した(第13図,
A)。

栽培日数に対する積算日射量は2003年夏作が, 2004
年および2005年夏作より低い値を示した。しかしその
他の作期ではほぼ同様の傾向を示した(第13図, B)。

第12表 3カ年にわたる作期別の系統ごとの栽培日数, 有効積算温度, 積算日射量

系統	栽培日数(日)															
	冬作			春作			夏作			秋作						
	2002年	2003年	2004年	2003年	2004年	2005年	2003年	2004年	2005年	2003年	2004年	2005年				
東洋系	79.3	63.8	42.8	**	42.5	45.8	45.8	*	33.5	42.5	32.0	**	35.5	31.8	35.8	ns
西洋系	93.5	81.0	55.6	**	49.9	50.1	51.9	ns	33.9	45.5	35.0	**	35.9	33.9	36.3	ns
交雑系	75.2	58.1	42.2	**	42.1	45.0	45.5	**	32.0	41.0	30.0	**	34.5	28.6	32.7	**
	**	y	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	
系統	有効積算温度(°C) ²															
	冬作			春作			夏作			秋作						
	2002年	2003年	2004年	2003年	2004年	2005年	2003年	2004年	2005年	2003年	2004年	2005年				
東洋系	548.4	711.2	570.3	**	374.5	502.9	465.2	**	806.4	1162	839.6	**	732.6	695.5	783.0	ns
西洋系	584.4	776.9	688.1	**	489.9	572.5	552.8	**	816.2	1237	919.6	**	738.1	732.2	792.6	**
交雑系	537.1	674.0	563.6	**	367.2	488.9	461.4	**	766.8	1118	785.0	**	717.5	637.6	727.4	**
	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	*	**	**	*	
系統	積算日射量(MJ m ⁻²) ²															
	冬作			春作			夏作			秋作						
	2002年	2003年	2004年	2003年	2004年	2005年	2003年	2004年	2005年	2003年	2004年	2005年				
東洋系	652.3	493.8	397.3	**	603.0	705.7	698.7	**	454.7	875.8	585.6	**	475.2	376.5	439.4	**
西洋系	786.3	663.2	499.6	**	704.7	798.3	819.2	**	461.1	928.8	635.8	**	479.7	392.5	445.9	**
交雑系	612.0	440.5	391.7	**	593.8	688.1	694.0	**	429.1	842.1	537.3	**	462.8	356.9	415.1	**
	**	**	**	**	**	**	**	*	**	**	*	**	*	**	**	

¹有効積算温度, 積算日射量は雨よけハウスの設置してある圃場での値である。²各処理区内の系統間において, *および**は, それぞ
れ5, 1%レベルの有意差あり およびnsは有意差なしを示す。³各値は系統間での平均値を示している。

第13表 3カ年にわたる作期別の系統ごとの葉柄葉身比, クロロフィル含有量, 硝酸塩濃度, シユウ酸塩濃度

系統	葉柄葉身比															
	冬作			春作			夏作			秋作						
	2002年	2003年	2004年	2003年	2004年	2005年	2003年	2004年	2005年	2003年	2004年	2005年				
東洋系	0.81	0.88	0.89	ns	0.83	0.85	1.00	ns	0.91	1.02	1.06	ns	0.88	0.89	1.10	*
西洋系	0.70	0.70	0.80	*	0.80	0.80	0.80	ns	0.80	0.80	0.90	ns	0.80	0.80	1.00	**
交雑系	0.85	0.95	0.95	*	0.88	0.91	0.97	*	0.90	1.01	0.99	ns	0.96	0.89	1.00	**
	*	**	**	ns	*	**	ns	**	ns	**	ns	*	ns	ns		

系統	クロロフィル含有量(SPAD) ^x															
	冬作			春作			夏作			秋作						
	2002年	2003年	2004年	2003年	2004年	2005年	2003年	2004年	2005年	2003年	2004年	2005年				
東洋系	52.3	44.1	39.7	**	34.9	35.7	39.6	*	41.3	40.2	44.3	ns	32.7	31.6	33.8	ns
西洋系	62.1	55.1	46.9	**	37.5	40.9	43.9	**	38.4	39.3	40.2	ns	35.0	31.7	34.9	**
交雑系	52.2	41.1	38.4	**	34.4	33.6	38.0	**	41.3	38.8	41.7	*	33.7	30.1	32.3	**
	**	**	**	*	**	**	*	ns	*	ns	*	ns	ns	*	**	**

系統	硝酸塩濃度(mg kg ⁻¹ FW)															
	冬作			春作			夏作			秋作						
	2002年	2003年	2004年	2003年	2004年	2005年	2003年	2004年	2005年	2003年	2004年	2005年				
東洋系	2602	4765	4389	**	4525	3701	3766	ns	4598	4070	3447	ns	4469	4433	5139	*
西洋系	3481	3153	3084	ns	4408	3352	3139	**	4276	4209	2979	**	4098	4405	4410	ns
交雑系	4053	5188	4367	**	4531	4041	3729	**	5800	3655	3396	**	4524	4355	5278	**
	*	**	**	ns	**	**	**	*	**	*	ns	*	*	ns	**	**

系統	シユウ酸塩濃度(mg kg ⁻¹ FW)															
	冬作			春作			夏作			秋作						
	2002年	2003年	2004年	2003年	2004年	2005年	2003年	2004年	2005年	2003年	2004年	2005年				
東洋系	9580	6629	7466	**	9061	6365	6441	**	7357	6613	6413	ns	5233	4882	5713	ns
西洋系	10480	8949	8583	**	8751	8738	8820	ns	7399	7796	6534	**	5899	4986	6608	**
交雑系	9438	6704	7083	**	8425	5741	6327	**	7512	6042	5940	**	5435	4985	5424	ns
	*	**	**	ns	**	**	ns	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	**	**

¹各処理区内の系統間において、*および**は、それぞれ5、1%レベルの有意差ありおよびnsは有意差なしを示す。²各値は系統間での平均値を示している。³最大葉の葉身のクロロフィル含有量を測定した。

(3) 作期ごとの分散分析

第11表に栽培期間中の雨よけハウスが設置してある圃場の平均気温と平均日射量についての一元配置分散分析結果をとりまとめた。すべての品種が収穫し終わるまでの栽培期間は冬作では2002年が95日間と長かったが2003年では82日間、2004年では60日間となった。春作では3ヶ年とも53日間前後だった。夏作では2004年に47日間だったが2003年35日間、2005年が39日間だった。秋作では3ヶ年とも37日間前後だった。平均気温は、冬作と夏作において、3ヶ年有意差があったが、春作と秋作において3ヶ年とも有意差がなかった。すなわち冬作においては2002年が2003年および2004年より有意に低く、夏作では2003年が2004年および2005年よりも有意に低かった。平均日射量は夏作のみ2003年が2004年より有意に低く2005年はそれらの中間の値を示したが、冬作、春作、秋作では各年次による差異は認められなかった。

系統別に3年間にわたる外的要因(栽培日数, 有効積算温度, 積算日射量)について見てみると、栽培日数に

ついては、どの作期・年次においても、西洋系が東洋系および交雑系より有意に多い値を示した(第12表)。また有意差はないものの、交雑系のほうが東洋系より栽培日数は短い傾向がみられた。年次変動を見てみると、冬作において、栽培期間中の平均気温が高い2004年のほうが平均気温の低い2002年より栽培日数が短い傾向が、夏作においては、平均気温が高い2004年のほうが平均気温の低い2003年より栽培日数が長くなる傾向がみられた。同じ系統を3ヶ年みてもみた場合、春作の西洋系、秋作の東洋系および西洋系で、年次の差異が見られなかった。有効積算温度(生育零点4℃)でも、すべての作期を通じて西洋系が東洋系および交雑系より有意に高い値を示した。2003年冬作、2003年、2004年、2005年の夏作、2003年と2005年の秋作で東洋系は西洋系と交雑系の中間の値を示す傾向があった。有効積算温度は2003年春作の交雑系の367.2℃から、2004年夏作の西洋系の1237.2℃まで幅があり、年間を通じて一定の値にならなかった。また、秋作の東洋系にのみ年次の差異が認められなかった。積算日

射量は年次・作期を通じ西洋系が東洋系および交雑系より有意に高い値を示した。夏作3年間と秋作の2003年と2005年において東洋系が西洋系と交雑系の中間の値を示し、2004年秋作では東洋系と西洋系が同等の値を示した。本研究では2004年秋作の交雑系の356.7 MJ m⁻²から2004年夏作の928.8 MJ m⁻²まで幅があり、年間・作期を通じて一定の値にならなかった。

第13表に内的要因(最大葉の葉柄葉身比, 最大葉葉身のクロロフィル含有量, 硝酸塩濃度, シュウ酸塩濃度)について示した。葉柄葉身比については、2003年春作, 2003と2005年夏作, 2004年と2005年の秋作において系統間に有意差はなかったが、そのほかの作期については西洋系が有意に低い、すなわち葉柄が有意に短かった。また冬作の東洋系, 春作の東洋系と西洋系, 夏作の3系統において年次の差異は認められなかった。クロロフィル含有量については夏作3ヶ年と2003年秋作を除いて、西洋系が他の2つの系統より有意に高かった。2004年夏作と2003年秋作では系統間に有意な差はなかった。2003年と2005年の夏作については、西洋系が他の系統より有意に低かった。夏作の東洋系と西洋系, 秋作の東洋系において年次の差異は認められなかった。硝酸塩濃度については、2003年の春作, 2005年夏作と2004年の秋作において有意差が認められなかったが、冬作と春作と秋作については西洋系品種のほうが東洋系や交雑系品種より優位に低い値を示した。夏作においては、2003年においては西洋系が有意に低い値を示し、2005年は有意差はないがやはり西洋系が低い傾向を示した。しかし2004年では有意に交雑系が低い値を、西洋系は高い値を示した。春作と夏作の東洋系, および冬作と秋作の西洋系において年次の差異は認められなかった。シュウ酸塩濃度については、2003年の春作と2003年と2005年の夏作と、2003年と2004年の秋作について有意差は認められなかったが、他の年次と冬作3ヶ年については有意に西洋系品種が東洋系や交雑系品種より高い傾向が認められた。また冬作について、栽培期間中の平均気温が高い2003年や2004年の値のほうが平均気温の低い2002年よりシュウ酸塩濃度が低くなる傾向がみられた。また春作の西洋系と夏作の東洋系および秋作の東洋系および交雑系で年次の差異が認められなかった。

4. 考察

本研究では、数多くあるハウレンソウ品種の基本となる固定品種とその改良品種を用いて、硝酸塩濃度およびシュウ酸塩濃度に自然環境要因が及ぼす影響を3ヶ年12作に渡って同一種子ロット, 同一施肥量, 同一雨よけハウスで栽培し検討したものである。

作期によって栽培期間が大きく異なる結果が得られた。冬作では栽培期間が2002年で最も長く96日間だった(第11表)。この間の平均気温を比べると、2002年が他の年と比べて有意に低く(第11表), 有効積算温度は2002年は他の年と比べて200°Cほど低い値を示したが(第13図, A), 積算日射量は有意な差異はなく(第11表)各年とも同様の傾向を示したことから(第13図, B), 栽培期間中の気温の低さに起因すると考えられる。春作と秋作では栽培期間も春作で53日前後, 秋作で38日前後だった。これは各年とも、春作と秋作では平均気温と平均日射量に有意な差がなかったことに起因すると思われる(第11表, 第13図)。

篠原ら(2007a)によると温暖地ハウス土耕におけるハウレンソウ収穫までの積算日射量を450 MJ m⁻²と算出しているが、本研究では2004年秋作の交雑系の356.7 MJ m⁻²から2004年夏作の928.8 MJ m⁻²まで幅があり、年間・作期を通じて一定の値にならなかった。しかし秋作では、本試験でも平均日射量は11.2から13.0 MJ m⁻²であり栽培日数も37日前後であり、積算日射量も450 MJ m⁻²前後と篠原ら(2007b)の結果を支持するものであった。

系統間の早晚性は年次, 作期を通じて安定していた。系統は各品種の育種された原産などにより分類したが、東洋系は早生と中生に、西洋系は中生と晩生が、交雑系は早生と中生の品種が含まれた。各品種の早晚性は第II章第1節で、冬作, 春作, 夏作, 秋作の相対収穫日数の平均から求めた生育速度に拠って分類したが(第1表), それは、年次が変わっても、作期を重ねても安定していた(第12表, 第13表)。

最大葉における葉柄葉身比は冬作では3ヶ年とも系

統の間に有意差があったが、他の作期では有意差が認められない年もあった。また最大葉の葉身のクロロフィル含有量も冬作と春作では西洋系が他の系統に比べて有意に高い値を示したが、夏作と秋作では有意差が検出されないか、他の系統のほうが高い値を示した。以上のことから、冬作以外の作期では、最大葉の葉柄葉身比や、最大葉の葉身のクロロフィル含有量をもってして硝酸塩やシュウ酸塩濃度の多少を判断できないと考えられる。硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度に関しては、冬作で3ヶ年とも有意な差が検出されたが、他の作期では有意な差が検出できない年もあった(第13表)。このことは、特に冬作において、品種選定がより重要であることを示している。

ホウレンソウを葉の形状で3タイプ(切葉、中間葉、丸葉)に分類してその水溶性シュウ酸含有量をみた場合、東洋種の「切葉」ではシュウ酸含有量は少なく、西洋種の「丸葉」では多く、雑種の「中間葉」は「切葉」と「丸葉」の中間に位置する傾向が認められたとしている(吉川ら, 1988)。本研究においても、特に冬作においてシュウ酸塩濃度は西洋系に多く、東洋系では少なく、交雑系は両者の中間の値かまたはより低い値を示した。これは交雑系は日本在来品種より早生で多収であることを目指して作られたからではないかと考えられる(熊沢, 1965)。香川(1997)は東洋系品種は東アジアの大陸性気候のため春播きや夏播きが行われず、ほとんど秋播き栽培に用いられてきたので、晩抽性の春播き品種の発達はみられなかった、これに対し西洋種はヨーロッパの夏季冷涼な気候に恵まれて春播き品種も晩抽系の採種も可能だった、としている。よって東洋系には早生の、西洋系には晩生の性質が付加されたと考えられる。特に冬作において早生品種である東洋系および交雑系は高硝酸塩・低シュウ酸塩濃度を示し、晩生品種である西洋系は低硝酸塩・高シュウ酸塩濃度を示したことは、第II章の結果を支持するものである。

EU ヨーロッパ委員会では域内で流通させるホウレンソウの硝酸塩濃度の基準値として2500から3000 mg kg⁻¹ (EU, 2002)と設定している。ヨーロッパ諸国でも2000 から 3500 mg kg⁻¹ と設定している(孫と米山, 1996)。東洋系や、特に交雑系統で硝酸塩はより高い値

を示した(第14表)。これらの結果から、東洋系や東洋系と交雑して育成した品種を多く用いる日本において、EU やヨーロッパの基準はそのまま当てはめることは妥当ではないと考えられる。

第2節 ホウレンソウ全グループにわたる 代表固定品種の硝酸塩・ シュウ酸塩濃度

1. 緒言

香川(1991)によると、ホウレンソウ (*Spinacia oleracea*. L.)は、その品種特性から大きく2つのグループ。ver. *spinosa* と ver. *grabra*, に分類され、さらに5群に分類される。すなわち、*S. oleracea*. L. ver. *spinosa* には、第1群が含まれる。原種に近い形態を示しているといわれている品種群で、角種子で剣葉である。アジア系とヨーロッパ系に分けられ、アジア系は‘禹城’や‘山形赤根’ (第13図, A) などの東洋系の品種が、ヨーロッパ系には西洋系の‘ミンスターランド’や‘ホーランドディア’などが含まれる *Spinacia oleracea*. L. ver. *grabra* はヨーロッパやアメリカで育種された西洋系品種で、丸種子で、葉の形などから4つの群に分けられる。第2群は丸葉の大葉で葉柄は長い。‘ピロフレー’ (第13図, B) や‘ノーベル’などが含まれる。第3群は丸葉で葉の厚みがあり丸葉で葉柄はやや短く晩抽性である。‘キング オブ デンマーク’ (第13図, C) などが含まれる。第4群は丸葉だが葉身の幅が狭く先端が尖っている。葉身の基部に強い縮みがある。‘ヴィクトリア’ (第13図, D) や‘ジュリアナ’が含まれる。第5群は丸葉で葉身全体に強い縮みがあり、葉身の外縁部は下方に反転する傾向がある。‘ロングスタンディング ブルームスディール’ (第13図, E) などが含まれる。これら5群のうち、第4群と第5群に含まれる品種は土臭く、歯切れが悪いことから日本で定着しなかった(香川, 1991)。第二次大戦後、東洋系品種と西洋系品種を交雑して多数の品種が作られた。‘豊葉’は千葉農試で‘ミンスターランド’と日本種との交雑から育成された(熊沢, 1965)。「次郎丸」は愛知県中郡稲沢町次郎丸で日本種とホーランドディアとの自然交雑からできた(熊沢, 1965)。「若草」は奈良農試で‘次郎丸’より分系された(熊沢, 1965; 野菜の保存品種 1981)。「温品」は日本種とノーベル、ホーランドディアの自然交雑から育成された(熊沢, 1965)。しかし、現在の流通経路では入手困難な品種も存在する。「札幌大葉」は

北海道農試で‘ピロフレー’から選抜され1952年に命名された品種である(熊沢, 1965)。「川内」は広島市佐東町原で‘次郎丸’と‘ミンスターランド’の交雑で育成された(野菜の保存品種, 1981)。しかし、ホウレンソウという植物種についての見地を得るには日本では栽培がほとんど行われていない第4群や第5群の品種群やかつて育成されたが現在ではほとんど栽培されていない品種群などについても調査が必要である。

この節の目的は、日本では流通していない品種を入手し、ホウレンソウ品種全体にわたる固定品種およびその改良品種の硝酸塩濃度およびシュウ酸塩濃度を測定することである。

2. 材料および方法

(1) 供試品種

市販固定品種およびその改良品種として‘バイキング’、‘ピロフレー’ ((株)サカタのタネ)、‘キング オブ デンマーク’ (カネコ種苗(株))、‘愛知次郎丸’ (タカヤマシード(株))、‘禹城’、‘黒葉ミンスターランド’、‘新日本’、‘日本’、‘豊葉’、‘若草’ (タキイ種苗(株))、‘ノーベル’、‘ミンスターランド’ (日東農産(株))、‘温品’ (広島市農林振興センター)、‘山形赤根’ (山形県種苗(株)) を供試した。

当センター所蔵品種として‘神奈川選抜系統(角種子)’、および‘インド系1’と‘インド系2’を供試した。また‘伊達在来’を北海道西胆振農業普及センターから、イラン在来種を香川彰氏から入手した。

Center for Genetic Resources (CGN; The Netherlands) から日本国内では入手困難な固定品種‘ヴァージニア’、‘ヴィクトリア’、‘オールド ドミニオン’、‘川内’、‘札幌大葉’、‘ジュリアナ’、‘ロングスタンディング ブルームスディール’、‘ホーランドディア’ およびホウレンソウ近縁種(*Spinacia turkestanica*) 4系統 (第14図, F) を入手した。



第 14 図 各群を代表するホウレンソウ品種

冬作(2004年11月16日播種)における栽培日数51日目の草姿

A:山形赤根, B:ピロフレア, C:キング オブ デンマーク, D:ヴィクトリア,

E: ロングスタンディング ブルームスディール, F:ホウレンソウ近縁種(*Spinacia turkestanica*)

(2) 栽培方法

播種日は、2004年11月16日に行った。神奈川県農業技術センター圃場(腐植質黒色黒ボク土造成層)に設置した第II章と同じホウレンソウ連作の雨よけハウス内で栽培した。2004年6月18日に、熱水処理(200 L m⁻²) (北, 2003 ; Kita ら, 2003 ; 北・岡本, 2004) を行い、2004年8月31日まで透明ポリフィルム(0.75 mm 厚)による太陽熱消毒を行った。熱水土壌消毒後、定法にしたがい土壌診断を行い EC と pH を測定し、土壌 pH を 6.5 に合わせるため苦土石灰を施用し、窒素レベルが 1 kg a⁻¹ となるよう化学肥料(燐加安 42 号, N:P₂O₅:K₂O=14:14:14%, 朝日工業社製)を施用した。有機肥料は予測不能な窒素供給の基となるため用いなかった。播種の1日前に土壌水分を均一化するため 3 L m⁻² の灌水を行った。ホウレンソウの種子はすべて催芽処理した。幅 120 cm 高さ 20 cm のベットの 15 cm 間隔で 6 条に 5 cm 間隔で 3 粒播種した。播種直後に灌水と立枯病予防を兼ねてヒドロキシイソキサザール液剤

(商品名: タチガレン, 三共アグロ社製) およびフルトラニル水和剤(商品名: モンカット, 日本農薬社製)の混合液を 1 m² 当たり 3 L 土壌表面に散布した。1 品種につき 3 条 7 株(0.21 m²) 21 株を 1 試験区とし、3 試験区設定した。試験区はビニールハウスの中にランダムに配置した。発芽後、最初の本葉が出てきたとき間引きをして 1 本立ちにした。灌水(3 L m⁻²) は収穫まで必要に応じて行った。

(3) 収穫とサンプリング

本研究では第II章, 第III章と同様に晴天時の午前9時から10時までにサンプリングを行った。対象は、各品種とも試験区の50%以上の株が市場流通基準である草丈 25 cm に達した日に行った。ただし播種後 80 日目(2005年2月4日)に草丈 25 cm 未満の品種も収穫した。1 試験区内の各条 7 株の中から平均的な草丈を示す株を 1 株ずつ選び、1 試験区につき 3 株収穫し、1 品種に

つき3反復設定した各処理区から合計9株を、鋏を用いてそれぞれ胚軸直上の地際部で切り取り採取した。本研究では、植物体全体としての硝酸塩濃度と水溶性シュウ酸塩を得ることとし、そのために葉柄と葉身は切り離さずに根部を切断した可食部全体を調査対象とした。新鮮重を正確に測定するため、植物体は水洗せず、子葉および最大葉より外側の葉も摘除しなかった。採取後、草丈、生鮮重、最大葉の葉柄長、最大葉の葉身のクロロフィル含有量をクロロフィル計(SPAD-502, ミノルタ社製)で測定したのち3株まとめてビニール袋に入れ直ちに-20℃で保存した。

(4) 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の測定

本研究でも、硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の測定は、第II章第1節と同様に、HPLCを用い、1ステップで測定した。

結果は1品種につき9株分の各と硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の平均値をその品種の値とし、硝酸塩また

はシュウ酸塩の mg kg^{-1} FW として表した。

3. 結果

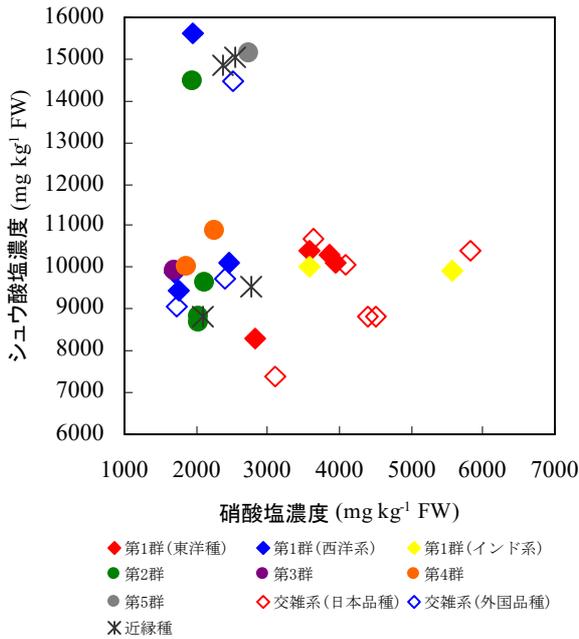
(1) ホウレンソウの生育

本研究では硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の固定品種間差異の要因を明らかにするため、第II章と同一の窒素レベル(1 kg a^{-1})で行った。本研究では、ホウレンソウの各グループを代表する固定品種およびその改良品種を用いて冬季栽培で試験を行った(第15表)。第1群の品種の葉身には深い切れ込みがあり、しわは認められなかった(第14図, A), 第2群, 第3群の品種の葉身の基部にしわが認められ(第14図, B, C), 第4群, 第5群には強いしわが認められた(第14図, D, E)。また、近縁種の *Spinacia turkestanica* の葉身は非常に切れ込みが深く、しわは認められなかった(第14図, F)。

第14表 ホウレンソウおよび近縁種の冬作における生育状況と硝酸塩・シュウ酸塩濃度

系統	品種・系統名	栽培日数 (日)	草丈 (cm)	葉柄葉身比	クロロフィル含有量 (SPAD)	硝酸塩濃度 (mg kg^{-1} FW)	シュウ酸塩濃度 (mg kg^{-1} FW)
第1群 ¹⁾	禹城	66	25.9	0.88	56.2	3945	10121
	日本	72	23.6	0.72	49.8	3586	10421
	神奈川選抜(角)	72	25.3	0.72	52.2	3848	10285
	山形赤根	80	25.2	0.82	40.7	2820	8310
	ミンスターランド	80	19.8	0.7	60.7	1940	15620
	黒葉ミンスターランド	80	18.4	0.61	52.8	1700	9890
	ホーランドディア	80	18.8	0.54	59.7	2470	10112
	イラン在来	80	16.5	0.57	61.0	1769	9426
	インド1	72	22.7	1.17	40.4	3588	10018
	インド2	59	25.2	0.79	37.4	5579	9902
第2群	札幌大葉	80	15.9	0.49	60.5	2032	8834
	伊達在来	80	22.8	0.80	55.6	2030	8660
	ノーベル	80	17.8	0.61	58.4	1940	14450
	ピロフレー	80	18.6	0.57	59.2	2130	9630
第3群	キング オフ デンマーク	80	16.8	0.64	59.3	1710	9910
第4群	ヴィクトリア	80	17.8	0.64	59.4	2248	10895
	ジュリアナ	80	13.4	0.36	66.5	1880	10025
第5群	ロングスタンディング フルームスタイル	80	12.8	0.52	64.5	2751	15127
交雑品種	愛知次郎丸	66	27.6	0.90	48.6	4089	10059
	川内	72	25.4	0.75	49.7	5832	10403
	新日本	66	28.3	0.87	47.6	4505	8830
	温品	59	25.5	0.74	39.7	4397	8821
	豊葉	80	26.8	0.76	40.9	3100	7380
	若草	72	27.4	0.70	47.8	3639	10707
外国 ²⁾	オールド ドミニオン	80	12.2	0.48	64.1	2511	14482
	バイキング	80	16.7	0.56	56.7	1740	9070
	ヴァージニア	80	13.3	0.54	65.8	2401	9709
近縁種	<i>Spinacia turkestanica</i> 1	80	17.0	0.68	56.1	2085	8832
	<i>Spinacia turkestanica</i> 2	80	15.7	0.66	59.2	2535	15054
	<i>Spinacia turkestanica</i> 3	80	13.6	0.62	63.1	2385	14842
	<i>Spinacia turkestanica</i> 4	80	18.6	0.89	56.9	2773	9523

¹⁾播種日は2004年11月19日である。²⁾分類は香川(1991)に拠る。^{*)}日本で育成された品種。^{**)}外国で育成された品種。



第15図 ホウレンソウおよび近縁種を代表する固定品種および交雑品種における冬作(2004年11月16日播種)での硝酸塩・シュウ酸塩濃度の分布。各ドットはホウレンソウ品種の各々の値を示す。

各品種群の中で、第1群の中の‘禹城’，‘日本’，‘神奈川選抜(角種子)’，‘山形赤根’を「東洋種」，‘ミンスターランド’，‘黒葉ミンスターランド’，‘ホーランドディア’，‘イラン在来’を「西洋種」，‘インド1’と‘インド2’を「インド系」とした。また、交雑品種の中で‘愛知次郎丸’，‘川内’，‘新日本’，‘温品’，‘豊葉’，‘若草’を「日本品種」，‘オールド ドミニオン’，‘バイキング’，‘ヴァージニア’を「外国品種」とした。供試品種の中で、西洋系の13品種(第1群4品種，第2群3品種，第3群1品種，第4群2品種，第5群

1品種)，イラン在来および *Spinacia turkestanica* 4系統が栽培日数80日目になっても草丈が20cm以下だった(第14表，第15表)。また葉柄葉身比は，第1群の東洋系品種と日本育成の交雑品種は0.79，第1群のインド系は0.98と葉柄が長めの値を示したのに対し，西洋系の品種と外国育成の交雑系統は0.50から0.64と葉柄が短い傾向を示した。クロロフィル含有量は第1群の東洋系品種が49.7，日本育成の交雑品種は45.7，第1群のインド系は38.9だったが，西洋系の品種と外国育成の交雑系統は58.4から64.5だった(第15表)。

(2) 各品種の硝酸塩濃度・シュウ酸塩濃度

各品種群を代表する固定品種の硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の相関関係を第15図にまとめた。第1群の品種群と日本で育成された交雑品種群が，シュウ酸塩濃度は7000から11000 mg kg⁻¹ FWであるのに対し硝酸塩濃度は3500から5800 mg kg⁻¹ FWと高くなる傾向があった。また，低硝酸塩濃度で高シュウ酸塩濃度を示す品種は，品種群に特定されなかった。第1群の‘ミンスターランド’，第2群の‘ノーベル’，第5群の‘ロングスタンディング ブルームスディール’，交雑品種の‘オールド ドミニオン’，*Spinacia turkestanica* の2と3が，硝酸塩濃度が1770から2500 mg kg⁻¹ FWでシュウ酸塩濃度は15000 mg kg⁻¹ FW前後だった。

4. 考察

栽培品種に関して，スムーズ，セミサボイ，サボイのような葉型に拠った品種間の硝酸塩濃度の違いは，

第15表 冬作²におけるホウレンソウおよび近縁種の生育状況と硝酸塩・シュウ酸塩濃度

各測定項目	第1群 ¹			第2群	第3群	第4群	第5群	交雑系		近縁種 ³
	東洋種	西洋種	インド系	西洋種	西洋種	西洋種	西洋種	日本品種	外国品種	
栽培日数(日)	72.5	80.0	65.5	80.0	80.0	80.0	80.0	69.2	80.0	80.0
草丈(cm)	25.0	18.4	24.0	18.8	16.8	15.6	12.8	26.8	14.1	16.2
葉柄葉身比	0.79	0.61	0.98	0.62	0.64	0.50	0.52	0.79	0.53	0.71
クロロフィル含有量(SPAD)	49.7	58.6	38.9	58.4	59.3	63.5	64.5	45.7	62.2	58.8
硝酸塩濃度(mg kg ⁻¹ FW)	3550	1970	4584	2033	1710	2064	2751	4260	2217	2445
シュウ酸塩濃度(mg kg ⁻¹ FW)	9784	11262	9960	10393	9910	10460	15127	9367	11087	12063

¹播種日は2004年11月19日。²分類は香川(1991)を基にした。³*Spinacia turkestanica*。

常に首尾一貫したものではなかった(Barker ら, 1974: Muramoto, 1999: Olday ら, 1976). 今回の結果から, スムース(第1群), セミサボイ(第2群, 第3群), サボイ(第4群, 第5群)の硝酸塩濃度の平均値と比べると, 第1群の東洋種は3550 mg kg⁻¹ FW で西洋系は1970 mg kg⁻¹ FW, 第2群と第3群は約2000 mg kg⁻¹ FW, 第4群と第5群は2064 mg kg⁻¹ FW と2751 mg kg⁻¹ FW と, スムースの一部品種の硝酸塩濃度が高い値を示した. これは東洋系と日本育成の交雑系統はいずれも早生品種で, 葉柄が長く, 葉身のクロロフィル含有量が低いなど, 第II章で示した「高硝酸塩・低シュウ酸塩」濃度を示す条件に一致している. ただし本研究では西洋系品種は栽培日数80日目になっても草丈が20cm以下など, 生育条件としては不適だった可能性がある. また, 特に第2群が4品種, 第3群が1品種, 第4群が2品種, 第5群が1品種と品種数が少なかったこともあり, 代表値として不足かもしれない. しかし, 西洋系品種の硝酸塩濃度が1710から2751 mg kg⁻¹ FW とより低い値を示すことから, EU ヨーロッパ委員会の定めた基準値(2500から3000 mg kg⁻¹ FW)をそのまま日本で育成された品種に当てはめるのは妥当ではないと考えられる.

葉身にしわの多いサボイタイプの品種は日本人の嗜好に合わないので栽培は少ないとされていた(香川, 1991). しかし, 近年, 東北地方を中心に冬期の冷気にあてて生育する「寒締めホウレンソウ」の草姿はロゼット状のセミサボイもしくはサボイタイプである(青木, 2007; 平田ら, 2008). 本試験ではセミサボイタイプの‘ノーベル’やサボイタイプの‘ロングスタンディング ブルームスディール’が硝酸塩濃度は低かったが, シュウ酸塩濃度は高い値を示した(第15表, 第14図). 今後, 冬期にセミサボイ, サボイタイプの品種を栽培するに当たっては品種の選定が重要になると考えられる.

また今回ホウレンソウの近縁種の *Spinacia turkestanica* にもホウレンソウと同程度の硝酸塩とシュウ酸塩が含まれることが明らかとなった. 育種素材としても有望かもしれない.

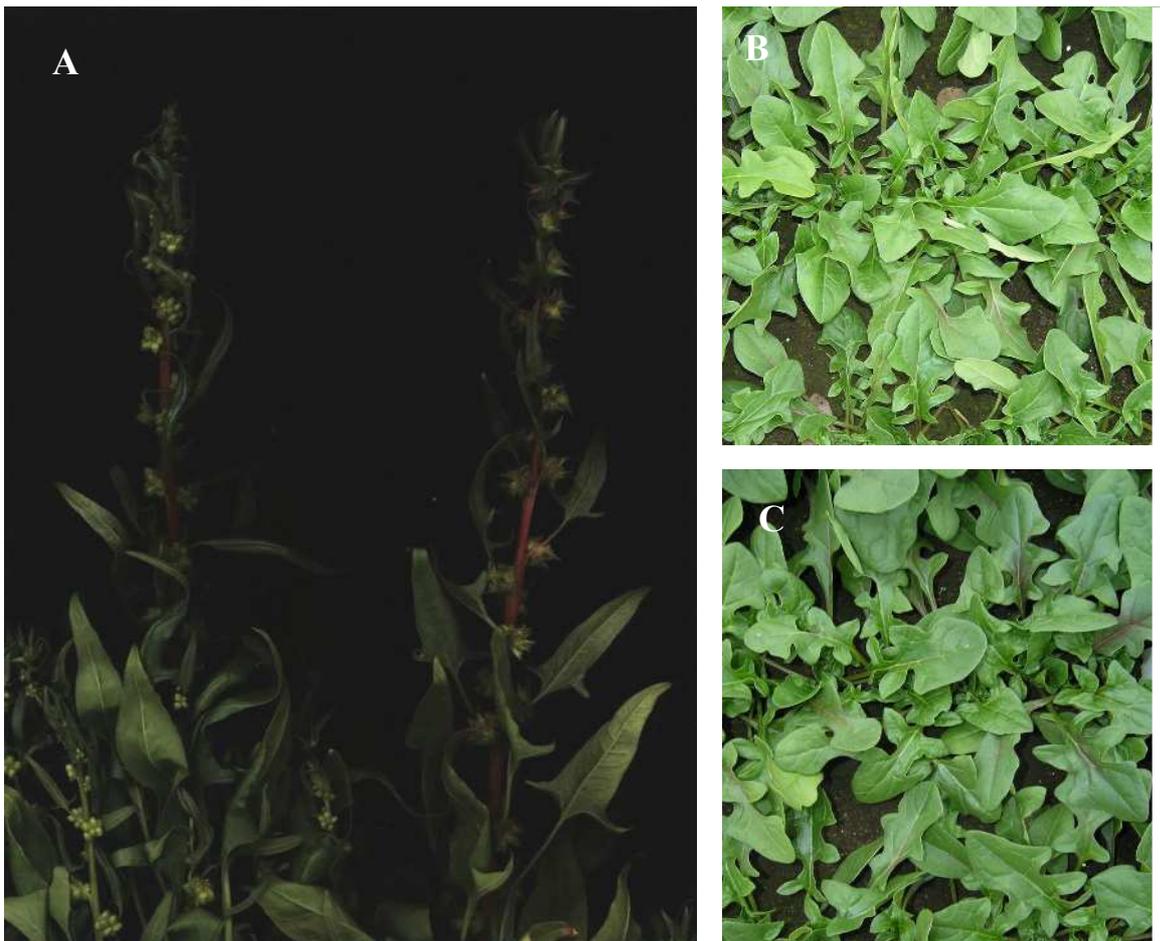
第3節 ホウレンソウの集団育種系統と トックロス系統の硝酸塩・ シュウ酸塩濃度

そこでこの節の目的は、当所所有の東洋系系統から集団選抜により改良した系統を片親にし、代表的な固定品種間でトックロス検定を行い、硝酸塩濃度およびシュウ酸塩濃度を測定し、低シュウ酸塩であるオリジナル F1 品種を作成することである。

1. 緒言

第 III 章第 1 節において、シュウ酸塩に関しては品種選定で、硝酸塩に関しては栽培技術で両方を低減化できる可能性が示された。

また、第 IV 章第 1 節において、日本で流通している固定品種とその交雑品種の秋作(9 月 10 日播種)と冬作(10 月 25 日播種)での硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度を比較すると、秋作では品種群間に有意差はなかったが、冬作においては交雑系品種が高硝酸塩・低シュウ酸塩濃度を、西洋系品種が低硝酸塩・高シュウ酸塩濃度であることが示された。



第 16 図 ‘神奈川選抜系統(角種子)’と‘神奈川選抜系統(丸種子)’
A: 抽台した角種子系統(右)と丸種子系統(左)の純粋雌株. B: 冬作(2004 年 11 月 12 日播種)における栽培日数 51 日目(2005 年 1 月 6 日)時の角種子系統(B) と丸種子系統(C)草姿.



第17図 作成したF1系統とその交雑親の一例。(2004年11月12日播種, 2005年1月6日撮影)

- A: ‘ピロフレー’ (種子親)
- B: ‘ピロフレー’ × ‘神奈川選抜系統(角種子)’ (F1系統)
- C: ‘神奈川選抜系統(角種子)’ (花粉親)

2. 材料および方法

(1) 供試品種

市販固定品種として‘ピロフレー’((株)サカタのタネ), ‘キング オブ デンマーク’ (カネコ種苗(株)), ‘愛知次郎丸’, (タカヤマシード(株)), ‘豊葉’, (タキイ種苗(株)), ‘ノーベル’, ‘ミンスターランド’ (日東農産(株)), ‘温品’ (広島市農林振興センター) を供試した。

当センター所蔵品種として‘神奈川選抜系統(角種子)’と, それから丸種子のものを集団選抜した‘神奈川選抜系統(丸種子)’を供試した。

(2) トップクロス系統の作成

20Lの不織布ポットにバーミキュライトと黒色黒ボク土を混ぜ入れ, 2003年6月19日に熱水処理により消毒を行った。全ての品種の種子は24時間流水に浸し3日間4°Cで催芽処理した後, 2003年11月9日に1品種20粒, 2ポットずつ播種した。補光による長日条件下(16時間日長)栽培により抽台促進を行った。種子親系統は純粋雌株を, 花粉親系統は純粋雄株を選抜することにより作成した。作成した種子親系統および花粉親系統は適宜組み合わせ, 1組み合わせずつガラス温

室で栽培した。

(3) 栽培方法

トップクロス検定栽培の播種日は, 2004年11月16日に行った。神奈川県農業技術センター圃場(腐植質黒色黒ボク土造成層)に設置した第II章と同じハウレンソウ連作の雨よけハウス内で栽培した。2004年6月19日に, 熱水処理(200 L m²) (北, 2003; Kitaら, 2003; 北・岡本, 2004) を行い, 2004年8月31日まで透明ポリフィルム(0.75 mm厚)による太陽熱消毒を行った。熱水土壌消毒後, 定法にしたがい土壌診断を行いECとpHを測定し, 土壌pHを6.5に合わせるため苦土石灰を施用し, 窒素レベルが1 kg a⁻¹となるよう化学肥料(燐加安42号, N:P₂O₅:K₂O=14:14:14%)を施用した。有機肥料は予測不能な窒素供給の基となるため用いなかった。播種の1日前に土壌水分を均一化するため3 L m²の灌水を行った。ハウレンソウの種子は24時間水道水の流水に浸し2~3日間4°Cで処理することにより催芽した。幅120cm高さ20cmのベットの15cm間隔で6条に5cm間隔で3粒播種した。播種直後に灌水と立枯病予防を兼ねてヒドロキシイソキサゾール液剤(商品名: タチガレン) およびフルトラニル水和剤(商品名: モンカット)の混合液を1 m²当たり

3 L 土壌表面に散布した。1 品種につき 3 条 7 株(0.21 m²)21 株を 1 試験区とし、3 試験区設定した。試験区はビニールハウスの中にランダムに配置した。発芽後、最初の本葉が出てきたとき間引きをして 1 本立ちにした。灌水(3 L m⁻²)は収穫まで必要に応じて行った。

(4) 収穫とサンプリング

本研究では第 II 章, 第 III 章と同様に晴天時の午前 9 時から 10 時までにサンプリングを行った。サンプリング対象は、各品種とも試験区の 50%以上の株が市場流通基準である草丈 25 cm に達した日に行った。ただし播種後 72 日目(2005 年 1 月 27 日)に草丈 25cm 未満の系統も収穫した。1 試験区内の各条 7 株の中から平均的な草丈を示す株を 1 株ずつ選び、1 試験区につき 3 株収穫し、1 品種につき 3 反復設定した各処理区から合計 9 株を、鋏を用いてそれぞれ胚軸直上の地際部で切り取り採取した。本研究では、植物体全体としての硝酸塩と水溶性シュウ酸塩濃度を得ることとし、そのために葉柄と葉身は切り離さずに根部を切断した可食部全体を調査対象とした。新鮮重を正確に測定するため、植物体は水洗せず、子葉および最大葉より外側の葉も摘除しなかった。採取後、生鮮重を測定したのち 1 株ずつビニール袋に入れ直ちに -20°C で保存した。

(5) 硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の測定

本研究でも、硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の測定は、

第 II 章第 1 節と同様に、HPLC を用い、1 ステップで測定した。

結果は 1 品種につき 9 株分の各と硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度の平均値をその品種の値とし、硝酸塩またはシュウ酸塩の mg kg⁻¹ FW として表した。

3. 結果

(1) 日本在来品種から選抜系統の作成

‘神奈川選抜系統(角種子)’は 1986 年から日本在来の品種‘山形赤根’から当県において集団選抜で育成された系統である。葉身の切れ込みが深く、葉柄と根本の赤色が濃く、神奈川県に風土に適した品種である(第 16 図 A, B)。「山形赤根」より 1 週間ほど早生である(第 14 表)。しかし種子の特性は角種子のままだったので、クリーンシーダーなどの播種機を用いた播種にはむかなかった。そこで丸種子の系統が求められた。2002 年、採種栽培していた‘神奈川選抜系統(角種子)’の純粋雌株の中に種子が丸型のものを 2 個体発見した。ホウレンソウの種子型は角種子が優勢形質なので(香川, 1999), 2 個体から得られた種子を 2003 年, 2004 年と雨よけハウスで採種栽培し、角種子の形質をもつ純粋雌株の除去することにより‘神奈川選抜系統(丸種子)’選抜を行った(第 16 図 A, C)。

第 16 表 作成した選抜系統・F1 系統名及び冬作²における硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度

種子親	花粉親	硝酸塩濃度		シュウ酸塩濃度	
		(mg kg ⁻¹ FW)	(%) ^y	(mg kg ⁻¹ FW)	(%) ^y
神奈川選抜系統(角種子)		3848	-	10285	-
神奈川選抜系統(丸種子)		3639	94.6	10291	100.1
愛知次郎丸	神奈川選抜系統(角種子)	3734	97.0	11311	110.0
温品	神奈川選抜系統(角種子)	2933	76.2	9501	92.4
豊葉	神奈川選抜系統(角種子)	3594	100.2	12636	121.3
ミスターランド [†]	神奈川選抜系統(角種子)	2284	51.9	13964	158.3
ピロフレ	神奈川選抜系統(角種子)	2178	56.6	15133	150.4
ノーベル	神奈川選抜系統(角種子)	2642	68.7	13218	149.7
キング オブ デンマーク	神奈川選抜系統(角種子)	2594	67.4	14603	151.5
神奈川選抜系統(角種子)	温品	3082	80.1	12694	118.6
神奈川選抜系統(角種子)	豊葉	2277	83.9	12517	128.6

[†]2004年11月16日播種。 ^y ‘神奈川選抜系統(角種子)’を100としたときの硝酸塩・シュウ酸塩濃度(%)

(2) トップクロス系統の作成

‘神奈川選抜系統(角種子)’を種子親、花粉親として用い、他のホウレンソウ固定品種7品種(‘愛知次郎丸’, ‘温品’, ‘豊葉’, ‘ピロフレー’, ‘ノーベル’, ‘キング オブ デンマーク’, ‘ミンスターランド’)との間で、F1採種を行い、9組合わせのF1種子を得た(第17表)。神奈川選抜系統(角種子)が花粉親の系統は7系統得られたが、種子親の系統は、‘温品’と‘豊葉’を花粉親とする2系統が得られた。‘愛知次郎丸’では開花のタイミングが合わず、‘ピロフレー’, ‘ノーベル’, ‘キング オブ デンマーク’, ‘ミンスターランド’の純粋雄株の選抜が困難で、飛散させる花粉量が不足だったため、これらの品種を花粉親とする系統は作成できなかった。

(3) 選抜系統とトップクロス系統の硝酸塩濃度・シュウ酸塩濃度

得られた選抜系統とトップクロス系統を窒素成分1 kg a⁻¹で冬期(2004年11月16日播種)栽培で検定を行った。‘愛知次郎丸’と‘温品’を種子親とした系統が播種後53日目に、他の系統は播種日72日目に収穫した。

葉形をみると、例えば丸葉丸種の‘ピロフレー’と切葉角種子の‘神奈川選抜系統(角種子)’を掛け合わせた系統は、丸みを帯びた切葉となった(第17図)。

その硝酸塩・シュウ酸塩濃度を測定したところ、‘神奈川選抜系統(丸種子)’は‘神奈川選抜系統(角種子)’とほぼ同じ値を示した(第17表)。東洋系と西洋系の日本で育成された交雑品種の‘愛知次郎丸’と‘豊葉’を種子親とし、‘神奈川選抜系統(角種子)’を花粉親とした系統では、硝酸塩濃度は同等レベルだったが、シュウ酸塩濃度が110.0%と121.3%だった。‘温品’を種子親とした場合は硝酸塩濃度が76.2%でシュウ酸塩濃度が92.4%だった。西洋系品種の‘ミンスターランド’, ‘ピロフレー’, ‘ノーベル’, ‘キング オブ デンマーク’を種子親とした系統では硝酸塩濃度が大幅に減少したが、シュウ酸塩濃度が約150%に上昇した。種子親を‘神奈川選抜系統(角種子)’とし、花粉親を‘温品’にした場合は硝酸塩濃度が80.1%で、シュウ酸塩濃度が118.6%であった。花粉親を‘豊葉’にした系統

では硝酸塩濃度が83.9%に低下したがシュウ酸塩濃度が128.6%に上昇した。

4. 考察

市販の固定品種と当所所有の東洋系品種を交雑し、冬作においてその生育特性を検討したところ、全体的にみて、硝酸塩濃度は若干低くなるがシュウ酸塩濃度は極端に高くないので、早生系統の‘温品’との交雑系統が有望と思われる。第II章第1節において‘温品’は冬作、春作、秋作において低シュウ酸塩な品種としてピックアップされている(第3表)。しかし、‘温品’は角種子の品種なので、種子親としては不適である。‘神奈川選抜系統(丸種子)’を種子親として花粉親を‘温品’とする組み合わせであれば、低シュウ酸塩濃度の東洋系品種を片親にもつ播種に適した丸種子のF1品種の育成が可能であると思われる。

第V章 総合考察

ホウレンソウの硝酸塩濃度を低減化する技術を開発するにあたり、ホウレンソウ本来の硝酸塩濃度はどのくらいなのかということを知り解明するため本研究が行われた。

本研究は2002年から2004年までの3ヶ年に、多数のホウレンソウ品種を雨よけハウスを用い、施肥前に土壌診断を行い窒素成分が 1 kg a^{-1} となるように化学肥料のみを使用し、栽培密度もベット幅1.2 m、6条植、条間15 cm、株間5 cmとなるよう手播き・間引きをして厳密に管理して行った。また熱水・土壌消毒と太陽熱消毒を行い、夏作でも栽培可能とし、収穫も晴天時の9時から10時と定めて行った。また硝酸塩とシュウ酸塩は同時定量することによりサンプル間の誤差を最小限にすることとした。

その結果、収穫適期である草丈25 cmのホウレンソウの硝酸塩・シュウ酸塩濃度には品種間差異が存在し、作期によりその差異の範囲が異なることが明らかになった(第II章第1節)。すなわち春作と秋作では硝酸塩・シュウ酸塩濃度ともに品種間差異は小さく、夏作では硝酸塩濃度の品種間差異は大きい、シュウ酸塩濃度の品種間差異は小さく、冬作では硝酸塩・シュウ酸塩濃度ともに品種間差異は大きかった(第II章第1節、第2節、第IV章第1節)。このことは春と秋はホウレンソウの「栽培適期」なので栽培日数、硝酸塩・シュウ酸塩濃度の品種間差異が小さくなったと考えられ、春・秋作は品種選別よりは栽培技術で硝酸塩濃度の低減化をはかることが望ましいと考えられる。夏作は大多数の品種が抽台するほど日長が長く、生育適温(10~20°C(香川1997))を越えているときもあり、長日条件による抽台開始もしくは高温による生理障害などが硝酸塩濃度の品種間差異に影響している可能性がある。よって夏作では抽台性・耐暑性による品種選択が重要である。冬作では栽培日数の差、すなわち早晩性の差が最も大きい作期であり、品種特性が最も影響している可

能性がある。冬作では栽培技術よりも品種選定の余地が大きいと考えられる。

また品種の早晩性と硝酸塩・シュウ酸塩濃度には密接な関係があり、硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度には負の相関があることが示された(第II章)。早晩性は環境に対する品種の反応性の違いであり、早生品種は硝酸塩濃度が高くシュウ酸塩濃度が低く、晩生品種は硝酸塩濃度が低くシュウ酸塩濃度が高いことが示された。品種そのものの特性として、葉身のクロロフィル含有量に対し硝酸塩濃度は正の相関を、シュウ酸塩濃度は負の相関を示した。これは早生品種はクロロフィル含有量が低く晩生品種はクロロフィル含有量が高いことを反映している。また最大葉の葉柄葉身比に対し、硝酸塩濃度は負の相関を、シュウ酸塩濃度は正の相関を示した。これは葉柄は硝酸塩を貯蔵する組織で、葉身はシュウ酸塩を貯蔵する組織であることを反映している。

第III章では冬作の硝酸塩濃度に顕著な差がある品種を用いて基肥量と灌水を変えた試験を行った。その結果、草丈、葉柄葉身比、クロロフィル含有量、1株重、シュウ酸塩濃度については品種間差異が認められ、一方硝酸塩濃度については品種間のみならず処理区間にも有意差が認められ、少窒素施用多灌水により有意に硝酸塩濃度が低下することが明らかになった(上西ら, 2007)。

第IV章では現在流通している実用品種の基礎となる固定品種とその改良品種や近縁種を用いて硝酸塩濃度とシュウ酸塩濃度を測定した。その結果西洋系品種では特に冬作硝酸塩濃度が他の品種より有意に低く、シュウ酸塩濃度が有意に高いことが、また東洋系と交雑系統の一部の硝酸塩濃度が高くなる傾向があることが明らかになった。そして東洋系の固定品種から育成した系統を片親にしたトップクロス検定では、西洋系品種と交雑すると硝酸塩濃度は低下するがシュウ酸塩濃度が上昇する傾向が示された。今までの育種では抽台性、収量性、耐病性などの観点から育成されてきたが、品種群により明解に硝酸塩・シュウ酸塩濃度が異なるという知見を踏まえ、

新しい観点から育種を進められる。

以上の結果から、追肥なしの基肥による雨よけハウスの土耕栽培で硝酸塩・シュウ酸塩を両方低減化するには、シュウ酸塩濃度が低い早生品種を使い、窒素施用量を減らすか栽培後期に十分な灌水をするなどの栽培技術で硝酸塩濃度を減らす、という手段が有効である可能性があると考えられる。

摘要

ホウレンソウは人間の健康に影響をおよぼすとされる硝酸塩とシュウ酸塩を含むことからこれらの低減化が求められる。そこで本研究では、雨よけハウスにおいて、まず4作(冬・春・夏・秋)、同一の窒素施肥量で182品種を栽培したところ、硝酸塩濃度は作期を通じて基本的に一定だが、シュウ酸塩濃度は作期によって大きく変動することを明らかにした。また、栽培日数の品種間差異が最も大きい冬作において、硝酸塩濃度は栽培日数、有効積算温度、積算日射量、クロロフィル含有量に負の相関関係を、葉柄葉身比には正の相関関係を示し、シュウ酸塩濃度は逆の相関関係を示したことを明らかにした。次に窒素施用量と灌水量の影響を調べたところ、シュウ酸塩濃度については品種間差異が大きかったが、硝酸塩濃度は品種間だけでなく処理区にも有意差が認められた。次に固定品種とその改良品種について調べたところ、西洋系品種の硝酸塩濃度がより低く、シュウ酸塩濃度はより高いことが明らかになった。そこで東洋系の系統を片親にトップクロス検定を行ったところ、西洋系の品種を交雑すると硝酸塩濃度は低下するもののシュウ酸塩濃度は高まることが明らかになった。

以上の結果から、追肥なしの基肥による雨よけハウスの土耕栽培で硝酸塩・シュウ酸塩を両方低減化するには、シュウ酸塩濃度の低い早生品種を用い、窒素施用量を減らすか栽培後期に十分な灌水を行うことで硝酸塩濃度を低下させる、という手段が有効である可能性が示された。

謝辞

本研究の実施にあたり、岐阜女子大学名誉教授(故)香川彰博士、千葉大学大学院自然科学研究科篠原温教授、丸尾達准教授、および神奈川県農業技術センター野菜作物研究部部長北宜裕博士には貴重な御助言ならびに御指導をいただいた。元神奈川県農業技術センター所長・現神奈川県環境農政部次長初瀬川政典氏は千葉大学大学院入学の機会を与えて下さった。元神奈川技術センター副所長・現農林水産技術情報協会情報システム部長、明治大学農学部客員教授藤原俊六郎博士、元神奈川県農業技術センター普及指導部部長渡部尚久博士及び元野菜作物研究部部長・現神奈川県種苗協同組合技術顧問北井敏氏には千葉大学大学院進学にあたり御相談に乗って頂いた。神奈川県農業技術センターの吉田誠主任研究員には硝酸塩およびシュウ酸塩の分析に多大な御協力をいただいた。片倉義則技能技師および高橋洋子技能技師にはホウレンソウの栽培、サンプルの調製に多大な御協力をいただいた。ホウレンソウの播種と収穫において北浦健生専門研究員、河田隆弘主査、野村研主任研究員、太田和宏技師、仲田喜代子技能技師、小池勉技能技師、小笠原光子氏、伊藤本子氏、宮川春花氏、中辻都子氏には多大な御協力をいただいた。ここに深謝の意を表する。

引用文献

- 阿部 泰典. 1985. 各作型での基本技術と生理 秋まき栽培. 農業技術体系. 野菜編. 第7巻. 追録10号. 基63-72. 農文協. 東京.
- 青木和彦. 2007. 寒締め低温によるハウレンソウの硝酸含量低減. 農業および園芸. 82: 993-997
- Barker, A.V., D.N. Maynard, and H.A. Mills. 1974. Variations in nitrate accumulation among spinach cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 99:132-134.
- Barker, A.V. 1975. Organic vs. inorganic nutrition and horticultural crop quality. HortScience 10:50-53.
- Beevers, L. and R.H. Hageman. 1980. Nitrate and nitrite reduction, p.115-168. In: B.J. Mifflin (ed.). The Biochemistry of plants. Vol.5: Amino acids and derivatives. Academic Press, New York.
- Breimer, T. 1982. Environmental factors and cultural measures affecting the nitrate concentration in spinach. Fertilizer Res. 3:191-292.
- Chung, S.Y., J.S. Kim, M. Kim, M.K. Hong, J.O. Lee, C.M. Kim, and I.S. Song. 2003. Survey of nitrate and nitrite concentrations of vegetables grown in Korea. Food Addit. Contam. 20:621-628.
- Caliskan, M. 2000. The metabolism of oxalate acid. Turk. J. Zool. 24: 103-106.
- Cantiliffe, D.J. 1972a. Nitrate accumulation in spinach grown under different light intensities. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97:152-154.
- Cantiliffe, D.J. 1972b. Nitrate accumulation in vegetable crops as affected by photoperiod and light duration. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97:414-418.
- Cantiliffe, D.J. 1972c. Nitrate accumulation in spinach grown at different temperatures. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97:674-676.
- Cantiliffe, D.J. 1973. Nitrate accumulation in table beets and spinach as affected by nitrogen, phosphorus, and potassium nutrition and light intensity. Agron. J. 65:563-565.
- EU: 2002.COMMISSION REGULATION (EC) No 563/2002 of 2 April 2002 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Communities.
- Elia, A., P. Santamaria, and F. Serio. 1998. Nitrogen nutrition, yield and quality of spinach. J. Sci. Food Agr. 76:341-346.
- Fincke, M. L., and H. C. Sherman. 1935. The availability of calcium from some typical foods. J. Biol. Chem. 110: 421-428
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2006. FAO STAT database. Available on line 30 July 2006. <http://faostat.fao.org/faostat/>
- 藤原隆広・熊倉裕史・大田智美・吉田裕子, 亀野貞. 2005. 市販ハウレンソウのL-アスコルビン酸および硝酸塩含量の周年変動. 園学雑. 4: 347-352
- Gangolli, S.D., P.A. Van den Brandt, V.J. Feron, C. Janzowsky, J.H. Koeman, G.J.A. Speijers, B. Spiegelhalder, R. Walker, and J.S. Wishnok. 1994. Nitrate, nitrite and N-nitroso compounds. Europ. J. Pharmacology Environmental Toxicology and Pharmacology Section 4:1-38.
- Goodin, J. R. and A. Mozafar. 1970. Quantitative histochemistry of oxalate in vesiculated hairs of *Atriplex halimus* L. Histchemie. 21: 366-368.
- 平田祐子・兼子明・水上宏二・森山友幸. 2008. 筑後南部地域における冬どり縮み系ハウレンソウの品種別の収穫時期とBrix及びビタミンC. 福岡県農業総合試験場研究報告 27: 105-109
- 堀江秀樹. 2008. ハウレンソウ葉表面に付着する白色顆粒. 園学研. 7: 135-138
- 香川彰. 1974. 生育のステージと生理, 生態. II 栄養生長の生理. 農業技術

- 体系. 野菜編. 第7巻. 基15-20. 農文協. 東京.
- 香川彰. 1986. (続) ホウレンソウ栽培とシュウ酸の関係について. ビニールと農園芸. 27: 5-8.
- 香川彰. 1991. 品種特性と作型適応性. II品種の特性. 農業技術体系. 野菜編. 第7巻. 追録16号. 基49-52. 農文協. 東京.
- 香川彰. 1997. 高品質ホウレンソウの栽培生理. p21-92. いしずえ. 東京.
- 香川彰. 2001. 作型と品種の選択. 農業技術体系. 野菜編. 第7巻. 追録26号. 基65-68. 農文協. 東京.
- Kaminishi, A. and N.Kita. 2006. Seasonal Change of Nitrate and Oxalate Concentration in Relation to the Growth Rate of Spinach Cultivars. *HortScience* 41(7):1589-1595.
- 上西愛子・野村研・北浦健生・河田隆弘・北宜裕. 2007. ホウレンソウのシュウ酸塩および硝酸塩濃度に及ぼす窒素施肥量と灌水量の影響. 農業生産技術管理学会誌. 14: 9-14
- 北宜裕. 2003. 臭化メチル代替技術. 施設園芸ハンドブック. 433-439. 日本施設園芸協会. 東京.
- Kita, N., K.Nishi, and S.Uematsu. 2003. Hot water treatment as a promising alternative to methyl bromide. *Proc. Intl. Res. Conf. Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions*. p26. Available on line 30 July 2006. <<http://www.mbao.org/>>
- 北宜裕・岡本昌広. 2004. 熱水土壤消毒. 農業技術体系 土壤肥料編 第5-①巻. 追録15号. 畑216: 7-25. 農文協. 東京.
- King, B. J., M. Y. Siddiqi, and A. D. M. Glass. 1992. Studies of the Uptake of Nitrate in Barley: V. Estimation of Root Cytoplasmic Nitrate Concentration Using Nitrate Reductase Activity—Implications for Nitrate Influx. *Plant Physiol.* 99: 1582-1589.
- Kojima, M., S.-J.Wu, H.Fukui, T.Sugimoto, T.Nanmori, and Y.Oji. 1995. Phosphorylation/dephosphorylation of Komatsuna (*Brassica campestris*) leaf nitrate reductase *in vivo* and *in vitro* in response to environmental light conditions: Effects of protein kinase and protein phosphatase inhibitors. *Physiol. Planta.* 93:139-145.
- Korth, K. L., S. J. Doege, Sang-Hyuck Park, F. L. Goggin, Q. Wang, S. K. Gomez, G. Liu, L. Jia, and P. A. Nakata. 2006. Medicago truncatula Mutants Demonstrate the Role of Plant Calcium Oxalate Crystals as an Effective Defense against Chewing Insects. *Plant Physiology* 141: 188-195
- 熊沢三郎. 1965. 第57節 ほうれんそう. 改著総合蔬菜園芸各論. 480-495. 養賢堂
- リロンデル, J., J-L.リロンデル. 2006. 自然と科学技術シリーズ 硝酸塩は本当に危険か—崩れた有害仮説と真実—. 65-125 農山漁村文化協会. 東京
- Libert, B. and V.R.Franceschi. 1987. Oxalate in crop plants. *J. Agr. Food Chem.* 35:926-938.
- Lorenz, O.A. 1978. Potential nitrate levels in edible plant parts, p.201-219. In: D.R.Nielsen and J.G.MacDonald (eds.). *Nitrogen in the environment*. Academic Press, New York.
- Massey, L.K., H.Roman-Smith, and R.A.L.Sutton. 1993. Effect of dietary oxalate and calcium on urinary oxalate and risk of formation of calcium oxalate kidney stones. *J. Amer. Diet Assoc.* 93:901-906.
- 松本真悟・阿江教治・山縣真人. 1999. 有機質肥料の施用がホウレンソウの生育および硝酸, シュウ酸, アスコルビン酸含量に及ぼす影響. 土肥誌. 70: 31-38
- Maynard, D.N., A.V.Barker, P.L.Minotti, and N.H.Peck.

1976. Nitrate accumulation in vegetables. *Adv. Agron.* 28:71-118.
- 目黒考司・吉田企世子・山田次良・下野勝昭. 1991. 夏どりホウレンソウの内部品質指標. *土肥誌*. 62: 435-438
- 目黒考司. 1993. ホウレンソウの内部品質向上試験からみた栄養診断の課題. *農業技術*. 48: 246-251
- Muramoto, J. 1999. Comparison of nitrate content in leafy vegetables from organic and conventional farms in Calif. *Organic Farming Res. Foundation, Santa Cruz, CA.* 10 June 2006. <<http://www.agroecology.org/people/joji/research/leafnitrate.pdf>>
- Olday, F.C., A.V. Barker and D.N. Maynard. 1976. A physiological basis for different patterns of nitrate accumulation in two spinach cultivars. *J. Amer. Sci. Hort. Sci.* 101:217-219.
- Pandy, S.C. and G. Kalloo. 1993. Spinach *Spinacia oleracea* L. p.325-336 In: G. Kalloo and B.O. Bergh (eds.). *Genetic improvement of vegetable crops.* Pergamon Press, Oxford, UK.
- Paul, R. E., C. S. Tang, K. Gross and G. Uruu. 1999. The nature of the taro acidity factor. *Postharvest Biology and Technology.* 16: 71-78
- Raven, J.A. and F.A. Smith. 1976. Nitrogen assimilation and transport in vascular land plants in relation to intracellular pH regulation. *New Phytol.* 76: 415-431.
- Regan, W.S., V.N. Lambeth, J.R. Brown, and D.G. Blevins. 1968. Fertilization interrelationships in yield, nitrate and oxalic acid content of spinach. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 93:485-492.
- 榊原均・杉山達夫. 1999. 窒素栄養と植物遺伝子の発現調節. *蛋白質核酸酵素*. 44: 135-143
- Santamaria, P., A. Elia, F. Serio and E. Todaro. 1999. A survey of nitrate and oxalate content in fresh vegetables. *Journal of Science of Food and Agriculture* 79:1882-1888
- 篠原温, 塚越覚・林菜穂子・丸尾達・北条雅章. 2007. ホウレンソウの養液土耕における日射比例型制御による硝酸濃度低減化技術の開発. *園学研* 6: 189-193
- 篠原温・塚越覚・林菜穂子・丸尾達・北条雅章. 2007. ホウレンソウの養液土耕における日射比例型制御による硝酸濃度低減化技術の実用化. *園学研* 6: 195-199
- 孫尚穆・米山忠克. 1996. 野菜の硝酸: 作物体の硝酸の生理, 集積, 人の摂取. *農業および園芸*. 71: 1179-1182
- 杉山信男・吉岡佐知子・高溝正. 1984. ホウレンソウにおける葉中無機成分濃度の日内変動並びに日間変動. *園学雑*. 52: 434-444
- 建部雅子・石原俊幸, 松野宏治, 藤本順子, 米山忠克. 1995. 窒素施用がホウレンソウとコマツナの生育と糖, アスコルビン酸, 硝酸, シュウ酸含有量に与える影響. *土肥誌*. 66: 238-246
- 建部雅子. 1996. 作物の施肥と品質形成—主に窒素栄養と葉菜類の品質成分について. *季刊肥料*. 75: 42-54
- 建部雅子. 1999. 窒素栄養の制御による作物品質成分の改善に関する研究. IV葉菜類の糖, アスコルビン酸, 硝酸, シュウ酸含有量におよぼす窒素栄養条件の影響. *農研センター研報*. 31: 46-70
- Tanaka, F., T.H. Kim, and T. Yoneyama. 2001. Relationship between oxalate synthesis and nitrate reduction in spinach (*Spinacia oleracea* L) plants tracing by ¹³C and ¹⁵N, p.302-303. In: W.W.J. Horst, M.K. Schenk, A. Bürkert, N. Claassen, H. Flessa, W.B. Frommer, H.E. Goldbach, H.-W. Olf, V. Römhild, B. Sattelmacher, U. Schmidhalter, S. Schubert,

- N.von Wirén, and L.Wittenmayer (eds.). Plant nutrition: Food security and sustainability of agro-ecosystems. XIV Intl. Plant Nutr. Colloq. Kluwer Dordrecht, Netherlands.
- 刀称茂弘・内山善雄. 1989a. 栽培条件がホウレンソウの蓚酸含量に及ぼす影響(第1報). 品種, ジベレリン処理, 栽植密度, 生育日数, 土壤水分の影響. 山口農試研報. 41: 32-39.
- 刀称茂弘・内山善雄. 1989b. 栽培条件がホウレンソウの蓚酸含量に及ぼす影響(第2報). 土壤および施肥の影響. 山口農試研報. 41: 40-45.
- 辻澄子・高坂雅子・森田幸博・柴田正・兼田登・若林和子・内堀(長谷川)幸子・井出重明・藤原一也・鈴木宏・伊藤誉志男. 1993. 生鮮食料品及び加工食品中の天然由来の硝酸根及び亜硝酸根の含有量. 食衛誌. 34: 294-302
- Walker, R. 1990. Nitrates, nitrites and N-nitroso compounds: A review of the occurrence in food and diet and the toxicological implications. Food Addit. Contam. 7:717-768.
- World Health Organization. 1995. Evaluation of certain food additives and contaminants, p.29-35. In: Forty fourth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Tech. Rept. Ser. No.859. Geneva, Switzerland. 10 June 2006. <<http://www.agroecology.org/people/foji/research/leafnitrate.pdf>>
- 野菜品種名鑑2005. ホウレンソウ p176 - 185 日本種苗協会
- 野菜の保存品種. 1981. 野菜試験場育種部
- 山下市二. 2002. 野菜の硝酸. 食衛雑. 43: 12-15
- 米山忠克, 建部雅子. 1992. アスコルビン酸(ビタミンC)・シュウ酸・硝酸の代謝と相互関係. 農業および園芸. 67: 1055-1062
- 吉川年彦, 中川勝也, 小林保, 時枝茂行, 永井耕介. 1988. 高品質ホウレンソウの生産・出荷に関する研究(第1報) シュウ酸含量に及ぼす品種・生育ステージの影響. 近畿中国農研. 75:71-76
- 寄藤俊明, 新畑雅企, 山村香織, 大津知子, 井口潤, 平松絹子, 鈴木千恵, 生本俊明, 宮武信, 佐藤耕一, 西山武夫, 鈴木忠直. 2005. 市販の国産野菜に含まれている硝酸濃度の実態調査. 日本食品科学工学会誌. 52: 605-609
- Zhen, R.-G., Koyro, H.-W., Leigh, R. A., Tomos, A. D., and Miller, A.J.1991. Compartmental nitrate concentrations in barley root cells measured with nitrate-selective microelectrodes and by single-cell sap sampling. Planta. 185: 356-361