

福岡県農業総合試験場特別報告

第33号

ツケナ (*Brassica napus*) の化学形態別カルシウム濃度に及ぼす栽培方法の影響

平成24年3月

福岡県農業総合試験場
(福岡県筑紫野市大字吉木)

SPECIAL BULLETIN
OF
THE FUKUOKA AGRICULTURAL RESEARCH CENTER
NO. 33

Effects of Cultivation Methods on the Concentration of Calcium in
Different Chemical Forms in Tsukena (*Brassica napus*)

by
Tatsuya Hayashida

THE FUKUOKA AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan

March 2012

ツケナ (*Brassica napus*) の化学形態別カルシウム濃度に及ぼす栽培方法の影響

林田 達也

2012

*東京農業大学 審査学位論文

序

近年、社会的な問題となっている骨粗鬆症の発症原因の一つが、カルシウムの摂取不足であり、厚生労働省も日本人の慢性的なカルシウム摂取不足を指摘している。野菜類の中にはカルシウム濃度の高い品目があるが、カルシウムはその化学形態により人体での利用率が異なることから、人体に利用されやすいカルシウム濃度が高い野菜類を生産することは、付加価値化の面で重要である。

本研究は福岡県で栽培が盛んなツケナ類に含まれる人体へ利用されやすいカルシウム濃度を高める栽培方法を明らかにする目的で実施したものである。まず、ツケナに含まれるカルシウムを化学形態別に分析し、他の野菜類と比較して、その特徴を明らかにした。さらに、カルシウムの濃度を高める栽培方法について明らかにした。今まで、人体への利用率を考慮して、野菜類の化学形態別カルシウム濃度と栽培方法との関係を明らかにした研究はなく、貴重な成果を得ることができたので、ここに特別報告として公表することとした。これらの研究成果はツケナの付加価値を高めることで、市場での有利販売を可能にし、本県の野菜の生産振興に大きく寄与することが期待される。

なお、本研究は福岡県農業総合試験場豊前分場において 1995～2004 年に実施した試験成績をとりまとめたものである。

本研究の遂行にあたり、御指導、御鞭撻を頂いた元東京農業大学大学院農学研究科教授三浦周行博士、東京農業大学大学院農学研究科教授杉山信男博士、同教授市村匡史博士ならびに同教授山口正己博士に厚くお礼を申し上げます。

平成 24 年 3 月

福岡県農業総合試験場長

大神 良弘

目 次

緒 言	1
第1章 ツケナと他の葉菜との化学形態別Ca濃度の比較	3
第2章 ツケナの栽培方法が化学形態別Ca濃度に及ぼす影響	7
第3章 ツケナの株どり栽培における収穫時期および窒素施用量が化学形態別 Ca濃度に及ぼす影響	13
第1節 収穫時期がツケナの化学形態別Ca濃度に及ぼす影響	13
第2節 生育温度がツケナの化学形態別Ca濃度に及ぼす影響	18
第3節 窒素施用量がツケナの化学形態別Ca濃度に及ぼす影響	23
第4章 ツケナの側枝どり栽培における品種および摘葉程度が化学形態別 Ca濃度に及ぼす影響	30
第1節 ツケナの側枝どり栽培における収量と化学形態別Ca濃度の品種間 差異	30
第2節 摘葉が側枝どり栽培したツケナの収量と化学形態別Ca濃度に及ぼす 影響	36
総合考察	42
総 括	47
総摘要	50
謝 辞	52
引用文献	53
Summary	57

緒 言

カルシウム (Ca) は人間の歯や骨の主要な成分であり、血液の凝固、筋肉の収縮および神経の刺激伝達等の生理的な役割を持つ重要な栄養素の一つである (佐竹, 1982)。近年、人口の高齢化にともない、骨粗鬆症が大きな社会的問題となっている。骨粗鬆症の原因の一つは Ca の摂取不足であるとされているが (白木, 1989; 細井・折茂, 1990), 厚生労働省が毎年実施している国民健康・栄養調査は、日本人の慢性的な Ca 摂取不足を指摘している (厚生労働省, 2010)。

野菜は近年、特にその体調調節機能が注目されているが (加田, 1980; 小清水, 1991; 上田ら, 1991; 関谷, 1994), ミネラルの供給源としても重要で、Ca 供給源としての野菜の有用性については多くの報告がある。白木・深谷 (1988) や関ら (1991) は女子大生を対象に食品の摂取の状況と Ca 充足率との関係を調査して、Ca 充足率が低い学生では乳・乳製品および緑黄色野菜の摂取が不足していることを明らかにしている。また、林ら (1994) も 40~60 歳代の一般の人を対象に全 Ca 摂取量のうち各食品由来の Ca が占める寄与率を調査した結果、乳・乳製品が最も寄与率が高く、次いで野菜類の寄与率が高いことを報告しており、野菜類は Ca 供給源として重要であることを明らかにしている。

野菜類のなかでもアブラナ科野菜のツケナやカブは、Ca 濃度が高いことが知られている (香川, 2005)。しかし、Ca はその形態により人体での利用率が異なり、乳酸 Ca, グルコン酸 Ca, クエン酸 Ca 等の有機酸塩や塩化 Ca, 炭酸 Ca, 硫酸 Ca, リン酸 Ca 等の無機塩は人体での利用率が高く (Tisdall・Drake, 1938; Kempster et al, 1940; Patton・Sutton, 1952; Patton, 1955), 細胞壁のペクチンと結合した形態やシュウ酸 Ca は人体への利用率が低いことが明らかにされている (原, 1951; Heaney et al, 1988; 奥, 1995)。従って、Ca 供給源としての野菜の有用性は総 Ca 濃度が高いだけでなく、人体での利用率の高い化学形態の Ca 濃度がどのくらい高いかが重要となる。

作物の Ca の化学形態に関しては、ツケナ・コマツナの葉位別分布に及ぼす窒素供給量の影響 (出口・太田, 1959), タバコ, イネの齢の進行に伴う動態 (小西・葛西, 1963a, b; 太田ら, 1970a, b, 1971a, b), イネの茎や根における分布 (太田ら, 1975), ハクサイ, トマト等の栄養生長期と生殖生長期における違い (陳・上本, 1976), リンゴの果実の軟化との関係 (Himelrick, 1981), 落花生の子実の形成過程における分布 (稲永ら, 1983), ホウレンソウの収穫後の変動 (南出ら, 1986), トマト果実の成熟過程における変動 (南出ら, 1987), トマトの尻腐れ果実における動態 (寺林ら, 1988; Minamide・Ho, 1993) を明らかにした研究があるが、これらの研究は全て作物における Ca の生理的な役割を解明するために行われており、栄養成分としての Ca に着目して、その濃度を積極的に高める栽培法についての研究はみあたらない。

福岡県内ではコマツナ, ミズナ等のツケナの作付けが盛んであるが、このなかで摘心後、腋芽から発生してくる側枝を収穫するツケナ的一种であるいわゆるナバナの栽培が増加し、京浜市場に博多なばな‘おいしい菜’の商標で出荷されている。また、一部は株全体の葉をジュース用の原料として使用するため株どり栽培されている。これらのツケナ類は元々 Ca 濃度が高いことが知られている (香川, 2005)。近年、消費者は農産物に高い栄養価や安全性を求めていることから、人体での利用率の高い化学形態の Ca 濃度を高めて付加価値を付けた野菜を生産することは、市場での有利販売を可能にし、日本人の慢性的な Ca 摂取不足を解消することにも繋がる可能性がある。

そこで本研究では、ツケナ (*Brassica napus* L.) の人体での利用率が高い化学形態の Ca 濃度

を高める栽培法を確立するために、まず、ツケナと他の葉菜の化学形態別 Ca 濃度を比較し、その特徴を明らかにした。次に、ツケナの二つの栽培法、側枝どり栽培と株どり栽培とで化学形態別 Ca 濃度を比べ、栽培法による影響を明らかにした。更に、株どり栽培において収穫時期および窒素施用量が化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響を明らかにした。側枝どり栽培においても、品種および摘葉程度が化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響を明らかにし、ツケナに含まれる人体での利用率が高い化学形態の Ca 濃度を高める栽培法を確立した。

第1章 ツケナと他の葉菜との化学形態別 Ca 濃度の比較

1.1 緒言

福岡県内ではコマツナ (*Brassica campestris* L.) , ミズナ (*Brassica Japonica* L.) 等のツケナの作付けが盛んであるが, 平成元年頃より摘心後, 腋芽から発生してくる側枝を収穫するツケナ, いわゆるナバナ (*Brassica napus* L.) の栽培が増加し, 県産ブランド品目として京浜市場を中心に出荷されている。これらツケナの Ca 濃度は高いが (香川, 2005), Ca はその化学形態により人体での利用率が異なることが明らかにされていることから, Ca 供給源としては総 Ca 濃度とともに人体で利用されやすい化学形態の Ca 濃度が高いことが重要である。しかし, これらツケナの化学形態別 Ca 濃度は明らかでない。

そこで, 側枝を摘みとる方式で栽培されるこれらツケナの化学形態別 Ca の特徴を明らかにするために, 側枝どりするいわゆるナバナの他, 株どり栽培するツケナ (*Brassica campestris* L.) および他の数種葉菜に含まれる Ca を水溶性, 塩可溶性, 酢酸可溶性および塩酸可溶性の四つの化学形態に分けて, それぞれの収穫部位の新鮮重当たりの濃度を比較した。

1.2 材料および方法

試験は福岡県農業総合試験場豊前分場内の水田転換圃場で行った。ツケナ (*Brassica napus* L. ここでは側枝どり) ‘京築在来’, ツケナ (*Brassica campestris* L.) ‘小松菜’, ホウレンソウ (*Spinacia oleracea* L.) ‘リード’, レタス (*Lactuca sativa* L.) ‘シスコ’, およびキャベツ (*Brassica oleracea* L.) ‘アーリーボール’ を供試した。側枝どりツケナ ‘京築在来’ を 1995 年 9 月 6 日, レタスを 9 月 19 日, キャベツを 8 月 24 日に 200 穴のセル成型トレイに播種し, 雨除け育苗した後, 露地圃場に定植した。株どりのツケナ ‘小松菜’, ホウレンソウは 10 月 16 日に露地圃場に播種した。レタス, キャベツの元肥として炭酸苦土石灰を CaO で $66\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$, N, P_2O_5 , K_2O を $23\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$, $25\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$, $21\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 施用した。ツケナ 2 品種, ホウレンソウの元肥として炭酸苦土石灰を CaO で $66\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$, N, P_2O_5 , K_2O を $13\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 施用した。栽植密度は, それぞれの品目の福岡県の栽培技術指針に準じた。ツケナ品種 ‘京築在来’, ‘小松菜’ およびホウレンソウは 12 月 18 日に, レタス, キャベツは 12 月 21 日に収穫した。各葉菜は収穫後, 利用部位を 5mm 角に刻んで Ca の分析試料とした。試験は 1 区 1.8m^2 とし, 3 反復で行った。

Ca 濃度の分析は, 南出ら (1986) の方法により水溶性, 塩可溶性, 酢酸可溶性, 塩酸可溶性の四つに分画して行った。すなわち新鮮物に蒸留水を加え, 氷冷中で磨砕し, 20°C で 1 時間放置後, $3,000 \times g$ で 10 分間遠心分離した。残さに蒸留水を加えてよく混ぜ, 20°C で 1 時間放置後に再び遠心分離した。この操作をもう 1 回繰り返して, 得られた上澄液を水溶性 Ca 画分とした。次に, 残さに 1N の NaCl を加え, 水溶性 Ca と同様に抽出した。さらに, 2% 酢酸, 5% 塩酸を順に加えてそれぞれの化学形態別 Ca を抽出した。このようにして得られた四つの Ca 画分を濃縮, 乾固した後, 電気炉中で 550°C , およそ 12 時間, 乾式灰化した。灰化後, 1N-塩酸で溶解し, 定容した後, 原子吸光 (島津製作所, SPCA-626D) で定量した。総 Ca 濃度は, これら四つの化学形態別 Ca 濃度の合計値とし, 新鮮重当たりで示した。

1.3 結果

第 1-1 表に、ツケナとその他葉菜の化学形態別 Ca 濃度について示した。総 Ca 濃度は株どりツケナ‘小松菜’が $1.44\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ と最も高く、次いで、側枝どりツケナ‘京築在来’，ホウレンソウの順で、レタスおよびキャベツはそれぞれ $0.18\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ ， $0.21\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ と低かった。化学形態別にみると、総 Ca 濃度と同様に水溶性 Ca 濃度および塩可溶性 Ca 濃度は、株どりツケナ‘小松菜’でそれぞれ $0.84\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ と $0.45\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ ，側枝どりツケナ‘京築在来’で $0.42\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ と $0.33\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ で、両形態の Ca とともに株どりツケナ‘小松菜’，側枝どりツケナ‘京築在来’の順で高かった。酢酸可溶性 Ca 濃度はいずれの葉菜も低く、大きな差は認められなかった。塩酸可溶性 Ca 濃度はホウレンソウで $0.34\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ と最も高かったが、その他の葉菜では著しく低かった。

総 Ca に占める各化学形態別 Ca の比率をみると、ツケナの総 Ca の 51.2~58.3% が水溶性 Ca であったのに対して、塩可溶性 Ca の比率は 31.3~40.2%，塩酸可溶性 Ca の比率は 3.5% 以下であった。一方、ホウレンソウは水溶性 Ca をほとんど含まず、総 Ca の 77.3% を塩酸可溶性 Ca が占め、その比率が他の葉菜に比べて著しく高かった。レタスおよびキャベツは塩可溶性 Ca の比率がそれぞれ 50.0%，42.9% と最も高く、次いで水溶性 Ca の比率がそれぞれ 33.3%，42.9% であった。いずれの葉菜でも総 Ca に占める酢酸可溶性 Ca の比率は低く、葉菜の種類によって大きな差は認められなかった。

1.4 考察

側枝どりのツケナ‘京築在来’および株どりのツケナ‘小松菜’の Ca は、およそ 50~60% が水溶性の形態で存在し、その濃度は他の葉菜に比べ著しく高かった。また、水溶性 Ca と塩可溶性 Ca で 2 種のツケナとも総 Ca のほぼ 90% を占めていた。レタスおよびキャベツに含まれる Ca も水溶性および塩可溶性 Ca が主な化学形態で、ツケナと同様、二つの化学形態の Ca で総 Ca の 80% 以上を占めていたが、その濃度はいずれもツケナより著しく低かった。ホウレンソウでは他の葉菜と Ca の化学形態が大きく異なり、塩酸可溶性 Ca が総 Ca の 77.3% を占め、水溶性 Ca は僅かであった。このように化学形態別 Ca 濃度および Ca の存在形態は、葉菜の種類により大きく異なった。

本研究では葉菜に含まれる Ca を水溶性、塩可溶性、酢酸可溶性、塩酸可溶性の四つの画分に分離した。太田ら (1970a, b) は四つの画分に含まれる Ca の形態について、アニオン類と Ca の当量値の比較、抽出に用いた溶媒に対する各 Ca の溶解度や置換性等から次のような形態であることを明らかにしている。すなわち、水溶性 Ca 画分には乳酸、クエン酸、アミノ酸塩等の有機酸塩と塩化物、硝酸塩等の無機塩が、塩可溶性 Ca 画分には細胞壁を構成するペクチン酸塩等が、酢酸可溶性 Ca 画分にはリン酸塩等が、塩酸可溶性 Ca 画分には難溶性のシュウ酸塩等が含まれるとしている。Ca はその化学形態により人体での利用率が異なり、乳酸 Ca，クエン酸 Ca，塩化 Ca，硫酸 Ca 等の水溶性の Ca およびリン酸 Ca は人体での利用率が高く (Kempster et al, 1940; 速水, 1940; Patton・Sutton, 1952; Patton, 1955)，細胞壁を構成しているペクチンと結合した Ca およびシュウ酸 Ca は人体での利用率が低いことが明らかにされている (原, 1951; Heaney et al, 1988; 奥, 1995)。ツケナは他の葉菜に比べ総 Ca 濃度が高いだけでなく、水溶性 Ca 濃度も高かったことから、ツケナに含まれる Ca は人体での利用率が高いと考えられる。逆に、ホウレンソウの Ca は、そのほとんどが塩酸可溶性 Ca であったことから、ホウレンソウに含まれる Ca は人体での利用率が低いと考えられる。

以上のことから、葉菜の総 Ca 濃度および化学形態別 Ca 濃度には大きな違いが認められ、ツケナは総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度が高かったことから Ca 供給源として有望であることが明らかとなった。

1.5 摘要

側枝どりおよび株どりツケナとその他葉菜の新鮮重当たりの Ca 濃度を化学形態別に分析し、Ca 濃度の違いとツケナに含まれる Ca の化学形態の特徴を明らかにした。

総 Ca 濃度、水溶性 Ca 濃度および塩可溶性 Ca 濃度はツケナ品種‘小松菜’で最も高く、次いでツケナ品種‘京築在来’で高かった。酢酸可溶性 Ca 濃度はいずれの葉菜も低く、ツケナと他の葉菜とで大きな差はなかった。ツケナに含まれる Ca は主に水溶性 Ca であったが、ハウレンソウに含まれる Ca は、そのほとんどが塩酸可溶性 Ca であった。

以上のことから、ツケナは人体での利用率の高い水溶性 Ca 濃度が高く、Ca 供給源として有望なことが明らかとなった。

第1-1表 ツケナとその他葉菜の化学形態別Ca濃度 (mg · g⁻¹FW)

品種・品目	Caの化学形態				
	水溶性Ca	塩可溶性Ca	酢酸可溶性Ca	塩酸可溶性Ca	総Ca
‘京築在来’	0.42	0.33	0.05	0.02	0.82
	(51.2) ^z	(40.2)	(6.1)	(2.5)	
‘小松菜’	0.84	0.45	0.10	0.05	1.44
	(58.3)	(31.3)	(6.9)	(3.5)	
ホウレンソウ	— ^y	0.03	0.07	0.34	0.44
	(—)	(6.8)	(15.9)	(77.3)	
レタス	0.06	0.09	0.02	0.01	0.18
	(33.3)	(50.0)	(11.1)	(5.6)	
キャベツ	0.09	0.09	0.02	0.01	0.21
	(42.9)	(42.9)	(9.5)	(4.7)	

^z () 内の値は各品種・品目の総Caに占める化学形態別Caの比率 (%)

^y ホウレンソウの水溶性Caは検出されたが、0.01mg · g⁻¹FW以下であった

第2章 ツケナの栽培方法が化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響

2.1 緒言

福岡県内ではツケナの側枝どり栽培が主体であるが、一部野菜ジュースの原料用に株どり栽培が行われている。株どり栽培では主茎および側枝を除いた株全体の葉を収穫する。側枝どり栽培したツケナは他の葉菜に比べ、総 Ca 濃度および人体での利用率の高い水溶性 Ca 濃度が高く、Ca 供給源として有望なことが明らかとなったが、総 Ca および化学形態別 Ca 濃度は作物の器官および部位によって異なることから（太田ら, 1970a, b, 1975; 出口・太田, 1959; 林田ら, 2010）、株どり栽培と側枝どり栽培とでこれらの Ca 濃度が異なると考えられる。

そこで、側枝どり栽培用品種を側枝どり栽培および株どり栽培し、収穫部位の新鮮重当たりの化学形態別 Ca 濃度を比較して、栽培方法の違いによる化学形態別 Ca 濃度を検討した。

2.2 材料および方法

試験は福岡県農業総合試験場豊前分場内の水田転換圃場で行った。側枝どり栽培用品種‘京築在来’を供試した。1996年9月11日に園芸培土(精新産業)を詰めた10号ペーパーポット(4.7cm×4.7cm×5.0cm)に播種し、ガラス温室内で31日間育苗した。10月12日に露地圃場に定植し、マルチ栽培を行った。本圃では、元肥として炭酸苦土石灰をCaOで66kg・10a⁻¹、N、P₂O₅、K₂Oをそれぞれ19kg・10a⁻¹施用した。栽植様式は側枝どりおよび株どり栽培とも畦幅145cm、株間40cmで2条千鳥植えとし、10a当たり3,448株を定植した。側枝どり栽培では腋芽の伸長を促すために11月7日に新葉5枚を含む主茎上部を摘心した。サンプリングは1997年1月11日、1月30日、2月14日の3回行なった。側枝どり栽培では腋芽から発生してくる側枝について、基部2葉を残した長さが20~25cmに達した側枝を収穫した(第2-1図)。株どり栽培では株全体の5cm以上の葉をすべて収穫した(第2-2図)。それぞれの利用部位を5mm角に刻んでCaの分析試料とした。なお、側枝どり栽培の利用部位には葉だけでなく、茎も含まれる。試験は1区20株とし、3反復で行った。

Caの分析は第1章と同様に四つの化学形態に分けて行った。総Ca濃度はこれら四つの化学形態のCa濃度の合計値とし、新鮮重当りで示した。

2.3 結果

第2-1表に側枝どり栽培および株どり栽培の収穫部位の時期別重量を示した。側枝どり栽培の収穫物1本当たりの重量は1月11日および2月14日に比べ、1月30日で有意に重かった。株どり栽培の1株当たりの葉重は2月14日に比べ、1月30日が有意に重かった。また、1月11日の1株当たりの葉重は1月30日と同等であった。

第2-3図にツケナ‘京築在来’の栽培方法の違いによる総Ca濃度について示した。両栽培方法を比べると、1月11日の総Ca濃度に有意差があり、株どり栽培の総Ca濃度が側枝どり栽培より高かった。しかし、その他の収穫時期では両栽培方法の総Ca濃度に有意差は認められなかった。また、側枝どり栽培および株どり栽培の総Ca濃度に収穫時期による違いは認められなかった。

第2-4図にツケナ‘京築在来’の栽培方法の違いによる水溶性Ca濃度について示した。両栽培方法の水溶性Ca濃度を比べると、1月11日に有意差が認められ、株どり栽培が0.81mg・g⁻¹FWで側枝どり栽培の1.5倍高かった。しかし、1月30日、2月14日の水溶性Ca濃度には栽培方法に

よる差は認められなかった。側枝どり栽培の水溶性 Ca 濃度には収穫時期による差はなかったが、株どり栽培では 1 月 11 日が有意に高く、2 月 14 日が有意に低かった。

第 2-5 図および第 2-6 図にそれぞれツケナ‘京築在来’の栽培方法の違いによる塩可溶性 Ca 濃度および酢酸可溶性 Ca 濃度を示した。塩可溶性 Ca および酢酸可溶性 Ca 濃度には栽培方法および収穫時期の違いによる有意差は認められなかった。

2.4 考察

側枝どり栽培と株どり栽培したツケナの総 Ca 濃度および化学形態別 Ca 濃度を、1 月中旬、1 月下旬、2 月中旬で比較した。側枝どり栽培の総 Ca 濃度は $1.03\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}\sim 1.18\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 、株どり栽培では $1.27\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}\sim 1.38\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ であった。葉菜のなかでもツケナ品種‘小松菜’の総 Ca 濃度は高い(香川, 2005)。本章におけるツケナ品種‘京築在来’の総 Ca 濃度は‘小松菜’とほぼ同等であった。

両栽培方法には 1 月中旬の総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度に差が認められ、株どり栽培が側枝どり栽培に比べ、総 Ca 濃度で 1.3 倍、水溶性 Ca 濃度で 1.5 倍高かった。作物の Ca 濃度は器官や部位によって異なり、茎や根より葉で、葉の部位では上位葉より下位葉で総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度が高いことが明らかにされている(出口・太田, 1959; 太田ら, 1970a, b, 1975)。さらに、著者らは株どり栽培したツケナの総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度を部位別に比べた結果、葉が茎よりも、主茎の葉が側枝の葉よりも高かった(林田ら, 未発表)。株どり栽培では収穫部位が株全体の葉で、総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度の高い下位葉が含まれること、側枝どり栽培では側枝の葉および茎を収穫することから、両栽培方法で総 Ca 濃度や水溶性 Ca 濃度が異なったのは、これらの収穫部位の Ca 濃度の違いを反映したものと考えられる。

以上のことから、側枝どり栽培用の品種‘京築在来’を株どり栽培することで、総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度を高められることが明らかとなった。

2.5 摘要

ツケナ品種‘京築在来’を用いて側枝どりおよび株どり栽培し、収穫方法の違いが化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響を検討した。

総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度は、1 月下旬および 2 月中旬収穫では両栽培方法間に差はなかったが、1 月中旬収穫の場合、株どり栽培で総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度が高かった。株どり栽培においては、1 月下旬および 2 月中旬収穫より 1 月中旬収穫で水溶性 Ca 濃度が高かった。

以上のことから、ツケナ‘京築在来’の総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度を高めるには、株どり栽培すると良いことが明らかとなった。



第 2-1 図 側枝どり栽培したツケナの収穫部位



第 2-2 図 株どり栽培したツケナの草姿
葉のみ収穫して出荷する。

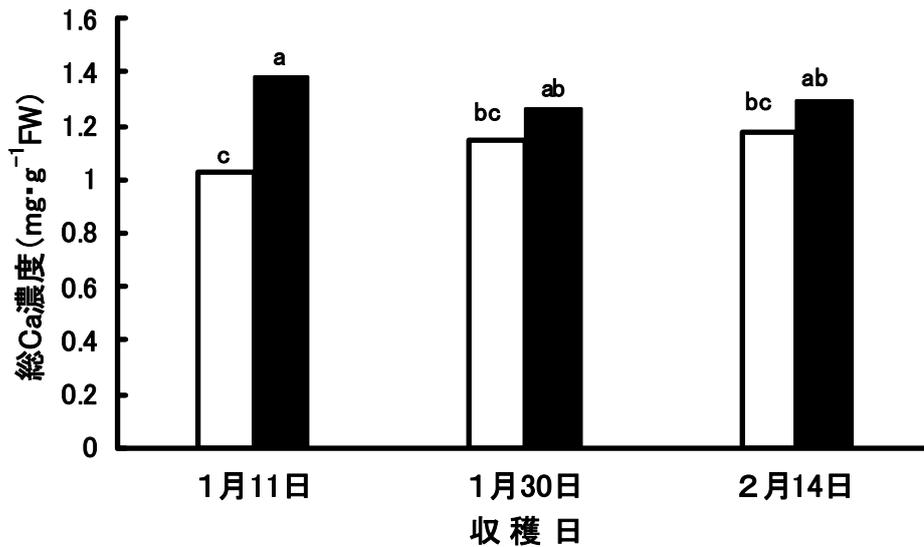
第2-1表 側枝どり栽培および株どり栽培の収穫部位の時期別重量(g)

栽培方法	収穫時期		
	1月11日	1月30日	2月14日
側枝どり栽培 ^z	20b ^x	23a	18b
株どり栽培 ^y	952ab	970a	718b

^z 側枝どり栽培の値は収穫物1本当たりの重量を表している

^y 株どり栽培の値は1株当たりの葉重を表している

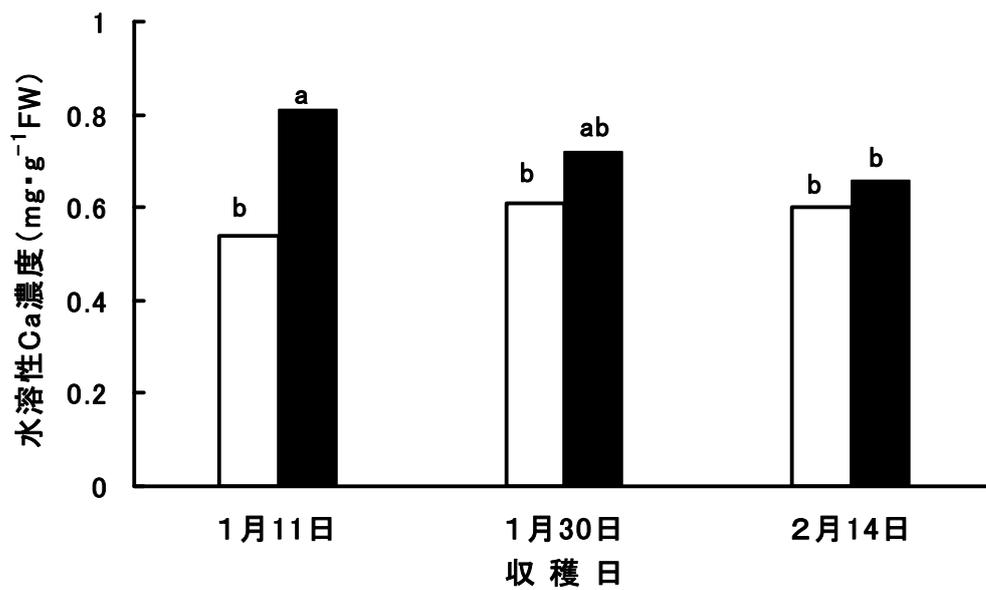
^x 表中のアルファベットの異文字間には同一行間の収穫時期に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)



第2-3図 ツケナ`京築在来`の栽培方法の違いによる総Ca濃度

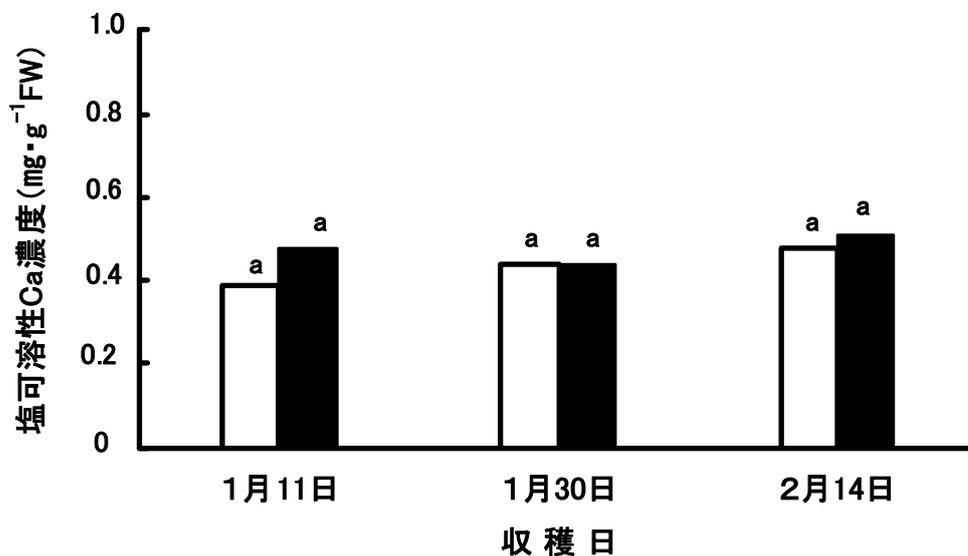
図中のアルファベット異文字間には5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

□側枝どり栽培 ■株どり栽培



第2-4図 ツケナの栽培方法の違いによる水溶性Ca濃度
 図中のアルファベット異文字間には5%レベルで有意差あり (Tukeyの検定)

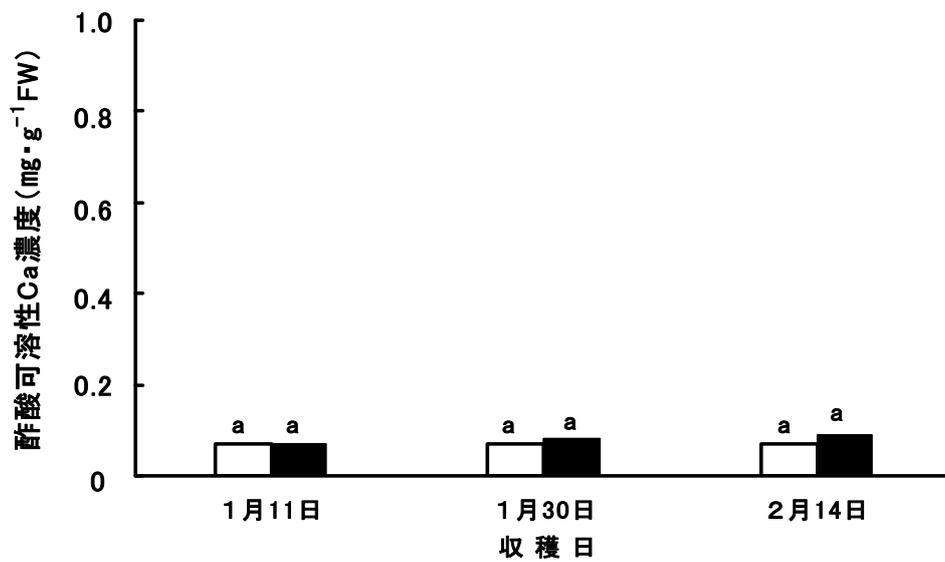
□ 側枝どり栽培 ■ 株どり栽培



第2-5図 ツケナ‘京築在来’の栽培方法の違いによる
 塩可溶性Ca濃度

図中のアルファベット異文字間には5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

□ 側枝どり栽培 ■ 株どり栽培



第2-6図 ツケナ‘京築在来’の栽培方法の違いによる酢酸可溶性Ca濃度

図中のアルファベット異文字間には5%レベルで有意差あり (Tukeyの検定)

□ 側枝どり栽培 ■ 株どり栽培

第3章 ツケナの株どり栽培における収穫時期および窒素施用量が化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響

第1節 収穫時期がツケナの化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響

3.1.1 緒言

第2章でツケナ‘京築在来’の総 Ca 濃度および人体での利用率が高い水溶性 Ca 濃度を高めるには、側枝どり栽培より株どり栽培すると良いことが明らかとなった。福岡県では一部ジュース用原料として株どり栽培され、1月中旬～2月上旬に収穫されているが、収穫時期と収穫部位である葉重および化学形態別 Ca 濃度との関係については明らかでない。

そこで、株どり栽培でさらに総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度を高める栽培方法を確立するために、収穫時期が葉重および化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響について検討した。

3.1.2 材料および方法

試験は福岡県農業総合試験場豊前分場内の水田転換圃場で行った。ジュース用原料として栽培され、抽だい性の異なるツケナ品種‘京築在来’と‘宮内菜’の2品種を供試した。1997年9月16日に園芸培土（清新産業）を詰めた10号ペーパーポット（4.7cm×4.7cm×5.0cm）に播種し、ガラス温室内で31日間育苗した。10月17日に露地圃場に定植し、マルチ栽培を行なった。本圃では元肥として炭酸苦土石灰を CaO で $66\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 、N、 P_2O_5 、 K_2O をそれぞれ $25\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 施用した。試験は1区32株とし、3反復で行った。サンプリングは1997年11月13日、12月16日、1998年1月20日、2月15日および3月17日の5回行い、各品種とも長さ5cm以上の葉をすべて採取し、4株分を合一して生体重を測定した。その後、これらの葉を約5mm角に刻んで化学形態別 Ca 濃度の分析に供試した。化学形態別 Ca 濃度の分析は、第1章と同様に四つの化学形態に分けて行った。総 Ca 濃度はこれら四つの化学形態の Ca 濃度の合計値とし、新鮮重当たりで表した。

3.1.3 結果

‘京築在来’では2月になると抽だいが見られ、2月18日には開花したが、‘宮内菜’では3月17日まで開花した株は認められなかった。第3-1表に株どり栽培したツケナ2品種の収穫時期別の葉重を示した。‘京築在来’の葉重は12月に1600gと最も重く、その後、落葉や生育の抑制により減少した。‘宮内菜’の葉重は2月まで‘京築在来’と同様に推移したが、3月に再び増加した。

第3-2表に株どり栽培したツケナ‘京築在来’の化学形態別 Ca 濃度に及ぼす収穫時期の影響について示した。総 Ca 濃度は11月が $1.78\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ と最も高かったが、1月には $1.26\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ に低下した。しかし、3月には $1.86\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ と再び増加した。化学形態別にみると、水溶性 Ca 濃度は11月から1月にかけて徐々に低下したが、3月には2月より高まった。塩可溶性、酢酸可溶性および塩酸可溶性 Ca 濃度は11月から1月までは差がなかったが、2月以降増加した。それぞれの化学形態の Ca が総 Ca に占める比率は収穫時期によって異なったが、いずれの収穫時期においても水溶性 Ca の比率が最も高く、次いで塩可溶性 Ca、酢酸可溶性 Ca の順であった。また、水溶性 Ca と塩可溶性 Ca で総 Ca の90%以上を占めていた。

第 3-3 表に株どり栽培したツケナ‘宮内菜’の化学形態別 Ca 濃度に及ぼす収穫時期の影響について示した。‘宮内菜’の総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度は、2 月までは‘京築在来’と同様に推移した。しかし、‘京築在来’でみられた 3 月の各 Ca 濃度の高まりはなかった。また、塩可溶性および塩酸可溶性 Ca 濃度は収穫時期で差が認められなかった。

各化学形態の Ca が総 Ca に占める比率も収穫時期によって異なり、その推移は‘京築在来’と同様であった。

二つの品種で比較すると、全ての収穫期間で‘京築在来’の総 Ca 濃度が高かった。これは二つの品種で主要な Ca である水溶性 Ca 濃度が異なり、‘京築在来’で高かったことによるものであった。また、葉重が最も重く、しかも水溶性 Ca 濃度が高かった収穫時期は 12 月であった。

3.1.4 考察

抽だい時期が異なる‘京築在来’と‘宮内菜’の 2 品種を用いて、収穫時期別に葉重、総 Ca 濃度および化学形態別 Ca 濃度を検討した。2 品種ともに温度の比較的高い 11 月から 12 月にかけて急激に生長し、葉重は 12 月に最も重くなった。その後、気温の低下とともに生育の抑制と下位葉の落葉のために葉重は軽くなった。2 月までの葉重の推移は 2 品種とも同様であった。しかし、‘宮内菜’では 3 月の温度の上昇とともに葉重が増加したが、‘京築在来’では 2 月以降抽だい、開花に伴い、葉重は減少した。

葉の総 Ca 濃度は、2 月までは 2 品種とも 11 月が最も高く、12 月以降、低下した。水溶性 Ca 濃度も総 Ca 濃度と同じように推移した。化学形態別にみると、‘京築在来’ではいずれの時期においても水溶性 Ca は総 Ca の 50.4~74.7% と他の化学形態の Ca より多かった。好石灰植物であるキャベツは、Ca 濃度の高い培地では生育が優れ、Ca の吸収量が高くなる(橘, 1982)。また、キャベツでは生体重の増加に伴い地上部への Ca 蓄積量が多くなる(田中ら, 1996)。ツケナにおいても 11 月~12 月にかけて葉重が急激に増加し、総 Ca 濃度も高く、この時期に Ca の根からの吸収および地上部への移行が盛んであったと考えられる。一般に、Ca の吸収・移行は温度が高いほど促進される。12 月以降、2 月まで水溶性 Ca 濃度が低下したのは、低温による影響が原因の一つと考えられる。また、葉の Ca 含有率は下位葉が上位葉よりも高く、下位葉では水溶性 Ca 含有率が高い(太田ら, 1970a, b; 出口・太田, 1959)。加えて、Ca は植物体で一度葉に蓄積されると再移動しにくいことから(Jones・Lunt, 1967)、本研究で 12 月以降に総 Ca 濃度や水溶性 Ca 濃度が低下したのは、葉の老化によって Ca や水溶性 Ca 濃度の高い下位葉が落葉したことも一因と推察される。

抽だい時期が異なる‘京築在来’と‘宮内菜’では 3 月の総 Ca 濃度、水溶性 Ca 濃度の推移が異なり、3 月には‘京築在来’の総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度が高くなった。陳・上本(1976)はトマト、ハクサイでは開花期以降に Ca 吸収量が増加することを報告している。‘京築在来’は開花日が 2 月 18 日、‘宮内菜’は開花日が 4 月 3 日であったことから、3 月における‘京築在来’と‘宮内菜’の総 Ca 濃度および水可溶性 Ca 濃度の推移が異なったのは、開花期の差異によるものと考えられる。

3.1.5 摘要

Ca 含量の高いツケナを生産する目的で、抽だい時期が異なるツケナ 2 品種を用いて、葉重、総 Ca 濃度および化学形態別 Ca 濃度に及ぼす収穫時期の影響を検討した。ツケナの葉重、総 Ca 濃度

および水溶性 Ca 濃度は収穫時期によって大きく変動した。2 品種とも葉重は 12 月が最も重く、1 月以降減少した。‘宮内菜’では葉重が 3 月に 12 月と同程度まで増加した。総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度は 2 品種とも 11 月が最も高く、次いで 12 月で高く、12 月以降低下した。

以上のことから、総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度を高めながら高い収量を得るには、12 月に収穫すると良いことが明らかになった。

第3-1表 株どり栽培したツケナ2品種の収穫時期別の葉重(g/株)

品 種	収 穫 時 期				
	11月13日	12月16日	1月20日	2月15日	3月17日
京築在来	243a ^z	1600d	1093c	883bc	625ab
宮内菜	190a	1711c	1308b	1367b	1817c

^z 表中のアルファベットの異文字間には同一行の各収穫時期間に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

第3-2表 株どり栽培したツケナ ‘京築在来’ の化学形態別Ca濃度 (mg・g⁻¹FW) に及ぼす収穫時期の影響

Caの化学形態	収 穫 時 期				
	11月13日	12月16日	1月20日	2月15日	3月17日
水溶性Ca	1.33c ^z (74.7c) ^y	0.90ab (62.9b)	0.70a (55.6ab)	0.71a (50.4a)	1.02b (54.8ab)
塩可溶性Ca	0.38a (21.3a)	0.43ab (30.1ab)	0.45ab (35.7b)	0.56bc (39.7b)	0.66c (35.5b)
酢酸可溶性Ca	0.06a (3.4a)	0.08ab (5.6ab)	0.09ab (7.1b)	0.11bc (7.8b)	0.14c (7.5b)
塩酸可溶性Ca	0.01a (0.6a)	0.02ab (1.4ab)	0.02ab (1.6ab)	0.03b (2.1b)	0.04b (2.2b)
総Ca	1.78b	1.43a	1.26a	1.41a	1.86b

^z 表中のアルファベットの異文字間には同一行の収穫時期間に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

^y () 内の値は総Caに占める化学形態別Caの比率 (%)

第3-3表 株どり栽培したツケナ‘宮内菜’の化学形態別Ca濃度 (mg・g⁻¹FW)に及ぼす収穫時期の影響

Caの化学形態	収 穫 時 期				
	11月13日	12月16日	1月20日	2月15日	3月17日
水溶性Ca	0.97c ^z (67.7c) ^y	0.57b (59.2b)	0.29a (39.2a)	0.33ab (41.8a)	0.35ab (41.5a)
塩可溶性Ca	0.37a (26.0a)	0.33a (33.7b)	0.35a (47.3c)	0.37a (46.8c)	0.38a (46.3c)
酢酸可溶性Ca	0.06a (4.2a)	0.06a (6.1a)	0.08ab (10.8b)	0.07ab (8.9b)	0.08b (9.8b)
塩酸可溶性Ca	0.03a (2.1a)	0.01a (1.0a)	0.02a (2.7a)	0.02a (2.5a)	0.02a (2.4a)
総Ca	1.43b	0.97a	0.74a	0.79a	0.83a

^z 表中のアルファベットの異文字間には同一行の収穫時期間に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

^y () 内の値は総Caに占める化学形態別Caの比率 (%)

第2節 生育温度がツケナの化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響

3.2.1 緒言

第1節でツケナを株どり栽培した場合、総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度は11月で最も高く、12月以降減少した。作物の Ca の吸収・移行は温度によって左右されることから(平田・佐々木, 1981), この原因の一つとして生育温度の影響が考えられる。

そこで、ツケナを株どり栽培し、化学形態別 Ca 濃度に及ぼす温度の影響について検討し、総 Ca および人体での利用率が高い水溶性 Ca 濃度を高めるための最適な生育温度を明らかにしようとした。

3.2.2 材料および方法

‘京築在来’と‘宮内菜’の2品種を1998年9月6日に10号ペーパーポット(4.7cm×4.7cm×5.0cm)に播種し、ガラス温室内で30日間育苗した。10月6日に水田土壌を乾土重で約12.5kg 詰めた1/2000aのワグナーポットに1株ずつ移植した。元肥としてポット当たり、炭酸苦土石灰をCaOで3.43g, N, P₂O₅, K₂Oを1.25g施用した。両品種とも24ポットを戸外で栽培した。10月26日にこのなかから生育の揃った各品種16ポットずつを選び、温度17±1℃, 日長時間12時間(PPFD 248 μmol·m⁻²·s⁻¹)の人工気象室に移した。25日後の11月19日に各品種4ポットずつの材料をサンプリングした。残り12ポットのうち、各品種4ポットずつはそのまま17℃の人工気象室に残した。残り8ポットについては、日長12時間(PPFD 248 μmol·m⁻²·s⁻¹)で温度がそれぞれ7, 27℃の人工気象室に各品種4ポットずつ移し、いずれも12月10日まで栽培した(第3-1図)。人工気象室での栽培期間中は、土壌の含水率が約22%になるように、1日1回午前9~10時の間に各ポットの重量を天秤(メトラ社製, TOLED ID3S)で測定しながら灌水した。サンプリングは12月10日に行った。草丈、主茎の葉数および葉重を調査した後、第1章と同様にして化学形態別 Ca 濃度を分析した。総 Ca 濃度はこれら四つの化学形態の Ca 濃度の合計値とし、新鮮重当たりで表した。

3.2.3 結果

第3-4表に株どり栽培したツケナの生育に及ぼす温度の影響を示した。‘京築在来’では、17℃区は7℃区より主茎の展葉が速かった。また、27℃区は7℃区と比較して展葉が速い傾向にあった。葉重は17℃区が7℃区、27℃区より重かった(第3-2図)。「宮内菜」も‘京築在来’と同様な傾向を示した。

第3-5表に株どり栽培したツケナ‘京築在来’の化学形態別 Ca 濃度に及ぼす生育温度の影響を示した。総 Ca 濃度は生育温度間で差が認められ、17℃区は7℃区、27℃区より高かった。各化学形態の Ca 濃度をみると、水溶性および塩可溶性 Ca 濃度に生育温度の影響が認められた。このうち、水溶性 Ca 濃度は17℃区が7℃区、27℃区より高かった。また、塩可溶性 Ca 濃度は7℃区および17℃区が27℃区より高かった。これに対し、酢酸可溶性および塩酸可溶性 Ca 濃度は生育温度間で差が認められなかった。総 Ca に対する水溶性 Ca の比率は17℃区および27℃区が7℃区より高かった。

第3-6表に株どり栽培したツケナ‘宮内菜’の化学形態別 Ca 濃度に及ぼす生育温度の影響を示した。総 Ca 濃度は17℃区が7℃区より高かった。各化学形態の Ca 濃度をみると、水溶性および

塩酸可溶性 Ca 濃度には生育温度の影響が認められ、水溶性 Ca 濃度、塩可溶性 Ca 濃度は‘京築在来’と同様な傾向であった。これに対し、塩酸可溶性 Ca 濃度は 7℃区および 17℃区が 27℃区より高かった。総 Ca に対する水溶性 Ca の比率は‘京築在来’と同様に 17℃区および 27℃区が 7℃区より高かった。

このように温度によるツケナの生育、総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度の変動は大きく、7℃、17℃および 27℃の三つの処理温度間では、17℃で葉重が最も重く、総 Ca および水溶性 Ca 濃度も高かった。

3.2.4 考察

ツケナでは 17℃で 7℃、27℃より総 Ca および水溶性 Ca 濃度が高くなり、生育温度によってこれらの Ca 濃度が異なった。植物は一般に高い温度で無機イオンの吸収や移行が促進されるが、最適温度が存在する(平田・佐々木, 1981)。ツケナにおいても生育温度が 17℃では 7℃および 27℃より根からの Ca の吸収、地上部への移行が促進され、葉の総 Ca および水溶性 Ca 濃度が高まったものと考えられる。

以上のように、生育温度によって葉の総 Ca および水溶性 Ca 濃度の変動し、生育を促進する温度 17℃でそれらが高くなった。第 1 節で株どり栽培したツケナ‘京築在来’、‘宮内菜’の総 Ca および水溶性 Ca 濃度が 11 月で最も高く、12 月以降、低下した原因の一つは、温度の低下により根からの Ca の吸収、地上部への移行が抑制されたためと考えられる。また、気温が低くなる 1~2 月でも気温を 17℃程度に保つことで、総 Ca および人体での利用率が高い水溶性 Ca 濃度を高められる可能性が示唆された。

3.2.5 摘要

総 Ca および人体での利用率が高い水溶性 Ca 濃度を高めるための生育温度を明らかにする目的で、ツケナを株どり栽培し、化学形態別 Ca 濃度に及ぼす温度の影響について検討した。

生育温度によるツケナ‘京築在来’、‘宮内菜’の生育、総 Ca および水溶性 Ca 濃度の変動は大きく、7℃、17℃および 27℃の三つの処理温度間では、17℃で葉重が最も重く、総 Ca および水溶性 Ca 濃度が高かった。生育が促進される温度 17℃で葉の総 Ca および水溶性 Ca 濃度が高くなったことから、生育温度の操作によって Ca 濃度の高いツケナを生産することが可能であることが示された。



第 3-1 図 温度処理 (17℃) の様子



第 3-2 図 温度処理終了直後の生育
左から 7℃、17℃、27℃ 区

第3-4表 株どり栽培したツケナの生育に及ぼす温度の影響

	温度処理前	温度 (°C)		
		7	17	27
‘京築在来’				
草高 (cm)	50.8	48.3a ^z	47.8a	49.1a
葉数 (枚)	16.8	19.8a	23.0b	21.6ab
葉重 (g)	314	317a	402b	305a
‘宮内菜’				
草高 (cm)	48.2	50.4a	50.9a	49.0a
葉数 (枚)	15.0	16.3a	21.3b	19.5ab
葉重 (g)	257	298a	462b	287a

^z 表中のアルファベットの異文字間には同一行の各処理間に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

第3-5表 株どり栽培したツケナ ‘京築在来’ の化学形態別Ca濃度 (mg · g⁻¹FW) に及ぼす温度の影響

Caの化学形態	温度処理前	温度 (°C)		
		7	17	27
水溶性Ca	1.36	1.38a ^z	1.81b	1.33a
	(73.9)	(67.6a) ^y	(74.2b)	(70.6b)
塩可溶性Ca	0.39	0.52b	0.52b	0.44a
	(21.2)	(25.5b)	(21.3a)	(23.5ab)
酢酸可溶性Ca	0.07	0.11a	0.09a	0.08a
	(3.8)	(5.4b)	(3.7a)	(4.3ab)
塩酸可溶性Ca	0.02	0.03a	0.02a	0.03a
	(1.1)	(1.5a)	(0.8a)	(1.6a)
総Ca	1.84	2.04a	2.44b	1.88a

^z 表中のアルファベットの異文字間には同一行の各処理間に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

^y () 内の値は総Caに占める化学形態別Caの比率 (%)

第3-6表 株どり栽培したツケナ‘宮内菜’の化学形態別Ca濃度(mg・g⁻¹FW)に及ぼす温度の影響

Caの化学形態	温度処理前	温度(°C)		
		7	17	27
水溶性Ca	0.95 (68.0)	1.20a ^z (65.3a) ^y	1.60b (73.3b)	1.39ab (73.4b)
塩可溶性Ca	0.33 (23.6)	0.47a (25.8b)	0.44a (20.1ab)	0.36a (18.5a)
酢酸可溶性Ca	0.06 (4.8)	0.10a (5.3a)	0.08a (3.8a)	0.12a (6.2a)
塩酸可溶性Ca	0.05 (3.6)	0.07b (3.6c)	0.06b (2.8b)	0.03a (1.7a)
総Ca	1.39	1.84a	2.18b	1.90ab

^z 表中のアルファベットの異文字間には同一行の各処理間に5%水準で有意差あり(Tukeyの検定)

^y ()内の値は総Caに占める化学形態別Caの比率(%)

第3節 窒素施用量がツケナの化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響

3.3.1 緒言

第2節で株どり栽培したツケナの総 Ca および水溶性 Ca 濃度は、生育が促進される温度で高まった。作物の生育に窒素施用量は大きな影響を及ぼし、一般に窒素施用量を増やすと作物の生育が促進される。また、作物は硝酸態窒素である硝酸イオンの吸収にともない、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 等も同時に吸収する（池田，1986）。これらのことから、窒素施用量はツケナの生育、化学形態別 Ca 濃度および硝酸イオン濃度に影響を及ぼすことが考えられる。しかし、ツケナにおいては窒素施用量と化学形態別 Ca 濃度および硝酸イオン濃度との関係を明らかにした報告はみあたらない。

そこで、窒素施用量の違いがツケナの株当たり重量、化学形態別 Ca 濃度および硝酸イオン濃度に及ぼす影響を検討し、総 Ca および水溶性 Ca 濃度を高めるための窒素施用量を明らかにした。

3.3.2 材料および方法

試験は福岡県農業総合試験場豊前分場内の水田転換圃場で行った。供試品種としてツケナ‘京築在来’を用いた。2003年9月22日に園芸培土（清新産業）を詰めた10号ペーパーポット（4.7cm×4.7cm×5.0cm）に播種し、ガラス温室内で35日間育苗した。その後、10月27日に本圃に定植し、マルチ栽培を行なった。本圃では元肥として炭酸苦土石灰を CaO で $66.0\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 、P K 化成を P_2O_5 、 K_2O でそれぞれ $12.5\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 施用した。N については CDU 窒素を用いて成分量で 12.5、25.0、37.5、50.0 $\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 施用し、4水準の試験区を設けた。栽植様式は畦幅 145 cm、株間 40 cm で2条千鳥植えとした。試験は1区16株とし、3反復で行った。サンプリングは2003年12月16日と2004年1月13日の2回行い、中庸な生育を示した4株を調査し、その株を分析用に供試した。長さ5cm以上の葉を全て採取し、新鮮重を測定した後、約5mm角に刻んで化学形態別 Ca 濃度および硝酸イオン濃度の分析に用いた。化学形態別 Ca 濃度の分析は第1章と同様に四つの化学形態に分けて行った。総 Ca 濃度はこれら四つの化学形態の Ca 濃度の合計値とし、新鮮重当たりで表した。硝酸イオン濃度は、生重の10倍量の蒸留水を加えて氷冷中で磨砕、抽出し、直ちに100℃の熱水中で30分間処理した後、イオンクロマトグラフィーにより分析した。カラムは TSKgel IC-Anion-PWXL（TOSOH 製）、移動相はホウ砂-グルコン酸カリウム系溶離液を用い、移動相の流速を 1.0 ml/min にして、電気伝導度検出器により硝酸イオンを検出した。

3.3.3 結 果

第3-7表にツケナの葉重に及ぼす窒素施用量の影響について示した。12月16日の株当たりの葉重は窒素施用量 12.5 kg 区の 748 g に対して、その他の試験区は 1,063～1,164 g と有意に重かった。1月13日の株当たりの葉重は、窒素施用量が多い試験区ほど重かった（第3-3図、第3-4図）。

12月中旬および1月中旬に収穫したツケナの化学形態別 Ca 濃度に及ぼす窒素施用量の影響をそれぞれ第3-8表、第3-9表に示した。総 Ca および水溶性 Ca 濃度は窒素施用量と収穫時期によって変動した。塩可溶性 Ca 濃度も収穫時期によって変動したが、窒素施用量の影響は認められなかった。時期別にみると、12月16日における総 Ca 濃度は各試験区間で有意差が認められなかった。水溶性 Ca 濃度は 25.0 kg 区および 37.5 kg 区がそれぞれ、 $1.40\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 、 $1.35\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ と 12.5 kg 区より有意に高かった。塩可溶性 Ca 濃度およびその他の Ca（酢酸可溶性 Ca + 塩酸可溶性 Ca）濃度には、各試験区間で有意差が認められなかった。総 Ca に占める各化学形態別 Ca の比率に

ついてみると、水溶性 Ca の比率は 12.5 kg 区の 66.9% に対して、その他の試験区が 71.8~73.9% と高かった。塩可溶性 Ca の比率は 12.5 kg 区の 29.2% に対して、その他の試験区が 23.3~24.5% と低かった。

1 月 13 日の総 Ca 濃度には試験区間に有意差が認められ、37.5kg 区および 50.0kg 区がそれぞれ $1.71\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$, $1.82\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ と 12.5kg 区より有意に高かった。水溶性 Ca 濃度は試験区間に有意差が認められ、25.0kg 区、37.5kg 区および 50.0kg 区が $0.99\sim 1.21\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ で 12.5kg 区の $0.68\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ より有意に高かった。塩可溶性 Ca 濃度およびその他 Ca 濃度には、各試験区間で有意差が認められなかった。水溶性 Ca の比率は 12.5kg 区の 52.7% に対して、その他の試験区が 62.3~66.5% と高かった。塩可溶性 Ca の比率は 12.5kg 区の 41.1% に対して、その他の試験区が 29.1~32.7% と低かった。収穫時期で比べると、1 月 13 日に収穫したツケナの水溶性 Ca 濃度は 12 月 16 日のものより低かった。

12 月 16 日と 1 月 13 日に収穫したツケナ‘京築在来’の硝酸イオン濃度に及ぼす窒素施用量の影響をそれぞれ第 3-5 図に示した。12 月 16 日の硝酸イオン濃度はいずれの試験区においても 1 月 13 日より高かった。12 月 16 日における硝酸イオン濃度には各試験区間に有意差が認められ、12.5kg 区の 976ppm に対して、他の試験区が 2,400ppm 前後と有意に高かった。1 月 13 日における硝酸イオン濃度も各試験区間に有意差が認められ、12.5kg 区が 20ppm、25.0kg 区が 338ppm と有意に低く、37.5kg 区が 922ppm、50.0kg 区が 1,236ppm と窒素施用量が多いほど、硝酸イオン濃度は有意に高かった。

3.3.4 考 察

本研究では、窒素施用量とツケナの葉重、化学形態別 Ca 濃度および硝酸イオン濃度との関係を明らかにし、ツケナの Ca 供給源としての有用性を高める最適な窒素施用量を検討した。

窒素施用量を 10a 当たり成分量で 12.5kg~50.0kg まで 4 水準設けて検討した結果、ツケナの葉重は、12 月 16 日は 25.0kg 以上施用した試験区で重かった。その後、1 月 13 日には窒素施用量の最も少ない 12.5kg 区で葉色が薄くなるとともに、茎葉にアントシアンが発現して、葉重が減少した。その一方、その他の試験区では葉重が増加し、窒素施用量が多い試験区ほど顕著に増加した。

ツケナの総 Ca および水溶性 Ca 濃度は収穫時期および窒素施用量により変動し、収穫時期では 1 月 13 日より 12 月 16 日が高く、窒素施用量が多い区で総 Ca および水溶性 Ca 濃度が高かった。すなわち、12 月 16 日は 12.5kg 施用区に比べ、25.0kg と 37.5kg 施用した区で水溶性 Ca 濃度が高かったが、その後、1 月 13 日には窒素施用量が多い区ほど、ツケナの総 Ca および水溶性 Ca 濃度が高かった。硝酸イオン濃度は 12 月 16 日には、12.5kg 施用区で 976ppm と低かったが、25.0kg 以上施用した区ではいずれも 2,400ppm 前後と高かった。その後、1 月 13 日にはすべての施用区で作物体の硝酸イオン濃度が低下し、窒素施用量が少ない試験区ほど硝酸イオン濃度が低かった。特に、12.5kg 施用区では 20ppm と極端に低かった。

一般に作物の生育は、窒素の吸収量に比例し(相馬ら, 1985), 葉菜類では窒素施用量が増加すると、生体重および硝酸含有率は高くなる(Barker et al, 1971; Maynard et al, 1976; 亀野ら, 1990; 建部ら, 1995b)。本研究のツケナの硝酸イオン濃度の変動から 12.5kg 施用した区で、1 月 13 日に葉重が減少した原因の 1 つは、12 月以降の窒素吸収が他の施用区に比べ、極端に抑えられた結果と考えられる。田中ら(1996)はキャベツ 10 品種を供試して、窒素施用量を 10a 当たり 15kg~25kg まで変動させ、窒素施用量が無機成分の含有率に与える影響を検討した。その結

果、窒素施用量を増やすと全窒素含有率が増加し、それに伴って Ca 含有率も多くの品種で増加したことを明らかにした。また、出口・太田 (1959) は、コマツナを養液栽培して、窒素施用の有無と形態別 Ca 濃度および総 Ca に占める化学形態別 Ca の比率を調べた結果、窒素が欠如した養液で栽培すると、水溶性 Ca および不溶性 Ca 濃度はともに減少し、総 Ca に対する不溶性 Ca の比率が高まることを明らかにしている。本実験においても、窒素施用量に違いがあるものの窒素栄養が不足した試験区では同様な結果が得られた。植物は硝酸イオンの吸収にともない、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 等も同時に吸収する (池田, 1986)。1月13日に 37.5kg および 50.0kg 施用区で 25.0kg 以下の施用区に比べて、総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度の低下の程度が小さかった。これは 25.0kg 以下の施用区に比べて、12月16日以降も窒素の吸収が優れ、それに伴う Ca の吸収が促進されたためと考えられる。また、窒素施用量の増加に伴い総 Ca に対する水溶性 Ca の比率が高まったが、これは硝酸イオンと同時に根から吸収された Ca^{2+} が、硝酸の還元に伴い有機酸と結合して液胞に蓄積したことによると推察される (Raven, 1985)。

以上のことから、ツケナを株どり栽培する場合、窒素を成分量で 10a 当たり 25.0kg 施用し、12月中旬に収穫することで、総 Ca 濃度および人体での利用率が高い水溶性 Ca 濃度を高められることが明らかとなった。

3.3.5 摘 要

窒素施用量の違いが株どり栽培したツケナの葉重、化学形態別 Ca 濃度および硝酸イオン濃度に及ぼす影響を明らかにし、総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度を高めることができる窒素施用量を検討した。

葉重は 12月16日には 25.0kg 以上施用した区で重く、1月13日には 37.5kg 施用区および 50.0kg 施用区で重かった。水溶性 Ca 濃度は 12月16日には 25.0kg 施用区および 37.5kg 施用区がそれぞれ、 $1.40\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 、 $1.35\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ で 12.5kg 区に比べ高かった。1月13日には 25.0kg 以上施用した区が 12.5kg 区に比べ高かった。収穫時期で比べると、1月13日より 12月16日に収穫したツケナの水溶性 Ca 濃度が高かった。

以上のことから、ツケナの水溶性 Ca 濃度を高めるためには、窒素を成分量で $25.0\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 施用し、12月中旬に収穫すると良いことが明らかとなった。

第3-7表 ツケナの葉重 (g/株) に及ぼす窒素施用量の影響

窒素施用量 (kg/10a)	収穫時期	
	12月16日	1月13日
12.5kg	748a ²	643a
25.0kg	1,063b	1,170b
37.5kg	1,123b	1,618c
50.0kg	1,164b	1,678c

² 表中のアルファベットの異文字間には縦列の各区間に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)



第 3-3 図 12 月中旬の試験区の生育
手前左 37.5kg 区, 手前右 12.5kg 区
奥 左 50.0kg 区, 奥 右 25.0kg 区



第 3-4 図 1 月中旬の試験区の生育
各試験区は第 3-3 図のとおり

第3-8表 12月中旬に収穫したツケナの化学形態別Ca濃度 (mg・g⁻¹FW) に及ぼす窒素施用量の影響

窒素施用量 (kg/10a)	Caの化学形態			
	水溶性Ca	塩可溶性Ca	その他Ca	総Ca
12.5kg	1.03 a ^z (66.9) ^y	0.45 ns (29.2)	0.06 ns (3.9)	1.54 ns
25.0kg	1.40 b (73.2)	0.45 (23.6)	0.06 (3.2)	1.91
37.5kg	1.35 b (71.8)	0.46 (24.5)	0.07 (3.7)	1.88
50.0kg	1.33 ab (73.9)	0.42 (23.3)	0.05 (2.8)	1.80

^z 表中のアルファベットの異文字間には縦列の各区間に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

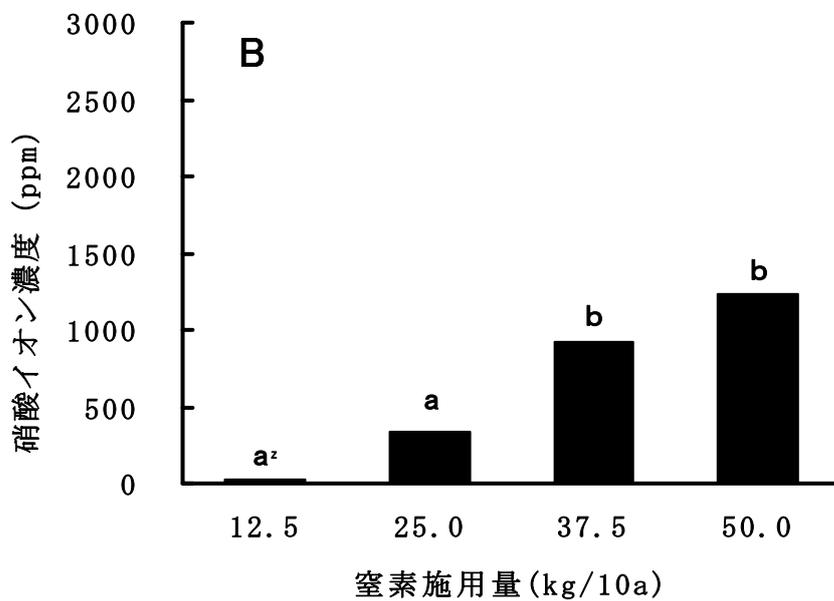
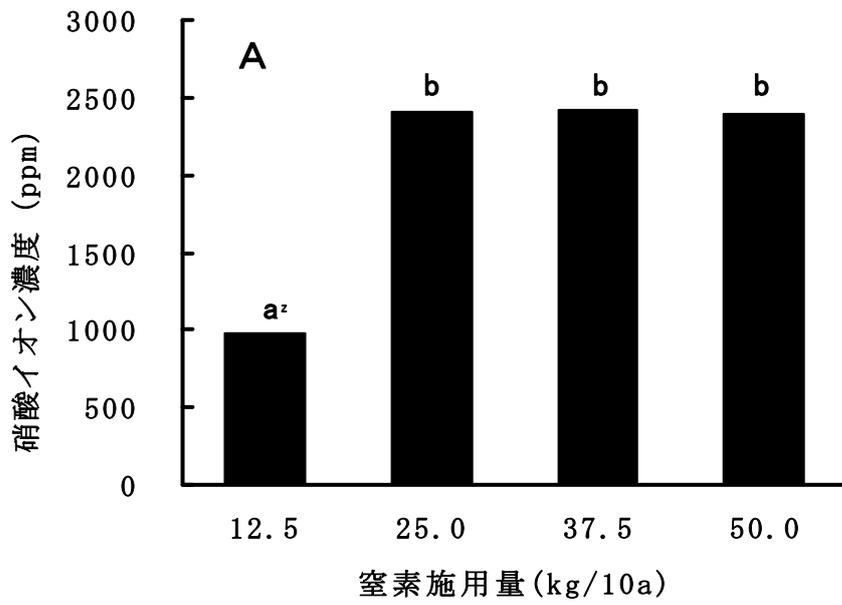
^y () 内の値は総Caに占める化学形態別Caの比率 (%)

第3-9表 1月中旬に収穫したツケナの化学形態別Ca濃度 (mg・g⁻¹FW) に及ぼす窒素施用量の影響

窒素施用量 (kg/10a)	Caの化学形態			
	水溶性Ca	塩可溶性Ca	その他Ca	総Ca
12.5kg	0.68 a ^z (52.7) ^y	0.53 ns (41.1)	0.08 ns (6.2) ^y	1.29 a
25.0kg	0.99 b (62.3)	0.52 (32.7)	0.08 (5.0)	1.59 ab
37.5kg	1.10 b (64.3)	0.53 (31.0)	0.08 (4.7)	1.71 b
50.0kg	1.21 b (66.5)	0.53 (29.1)	0.08 (4.4)	1.82 b

^z 表中のアルファベットの異文字間には縦列の各区間に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

^y () 内の値は総Caに占める化学形態別Caの比率 (%)



第3-5図 12月中旬(A)と1月中旬(B)どりしたツケナの硝酸イオン濃度に及ぼす窒素施用量の影響

²図中のアルファベット異文字間には5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

第4章 ツケナの側枝どり栽培における品種および摘葉程度が化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響

第1節 ツケナの側枝どり栽培における収量と化学形態別 Ca 濃度の品種間差異

4.1.1 緒言

第2章でツケナを株どり栽培すると側枝どり栽培に比べて、収穫部位の総 Ca および水溶性 Ca 濃度が高くなることが明らかとなったが、福岡県では主に側枝どり栽培が行なわれている。従って、側枝どり栽培でもこれらの Ca 濃度を高める栽培方法を確立する必要がある。作物の Ca 濃度は、土壤に施用する石灰資材 (Misaghi・Matyac, 1981; Demchak・Smith, 1990), 窒素肥料の種類や施用量 (小田原ら, 1994; 宇井・高野, 1995a; 関, 1995), 生育温度 (林田ら, 2003), 送風の有無および齢の違い (宇井・高野, 1995b, 1995c) 等によって異なることが報告されている。しかし、ツケナの総 Ca および水溶性 Ca 濃度を高める栽培方法を確立する際、これらの Ca 濃度が高い品種を用いることは重要である。トウモロコシ, ケール, イチゴ, キャベツ等の作物では Ca 含有率に品種間差異のあることが明らかになっているが (Gorsline et al, 1961; Maynard et al, 1964; Albregts・Howard, 1978; Clarkson・Hansen, 1980; Johnson, 1991a, b; 田中ら, 1996), 側枝どり栽培したツケナの化学形態別 Ca 濃度の品種間差異については明らかでない。

そこで、ツケナの側枝どり栽培において総 Ca 濃度および人体への利用率が高い水溶性 Ca 濃度を高める栽培法を明らかにするために、化学形態別 Ca 濃度の品種間差異を検討した。

4.1.2 材料および方法

試験は福岡県農業総合試験場豊前分場の水田転換圃場で行った。品種は‘京築在来’, ‘宮内菜’, ‘五月菜’, ‘芯切菜’の4品種を供試した。1996年9月7日に園芸培土 (清新産業) を詰めた10号ペーパーポット (4.7cm×4.7cm×5.0cm) に播種し、ガラス温室内で育苗した。23日間育苗した後、9月30日に露地圃場に定植しマルチ栽培を行なった。本圃では元肥として炭酸苦土石灰を CaO で $66\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$, N, P_2O_5 , K_2O をそれぞれ $13\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 施用した。また追肥として、11月下旬~1月下旬におよそ20日おきに N, P_2O_5 , K_2O をそれぞれ1回当たり $3\text{kg} \cdot 10\text{a}^{-1}$ を、計4回施用した。葉数がおおよそ17枚となった10月27日に新葉5枚程度を含む主茎部分を除去した。その後、直ちに残りの主茎の上位から3枚の葉を摘葉した。試験は1区6株とし、3反復で行った。収穫は各品種とも11月8日から3月25日の間に12回、腋芽から発生した側枝で基部2葉を残した長さが20~25cmに達したものを収穫した。収穫物は直ちに本数および重量を調査した後、約5mm角に刻んで化学形態別 Ca 濃度の分析に供試した。

化学形態別 Ca 濃度の分析は第1章と同様に行い。総 Ca 濃度は四つの化学形態の Ca 濃度の合計値とし、それぞれ新鮮重当たりで表した。

4.1.3 結果

第4-1表に側枝どり栽培したツケナ品種の株当たり収量を示した。株当たり収量には品種間差異が認められた。すなわち、11月~12月は‘京築在来’の株当たり収量が‘芯切菜’に比べて有意に高かった。‘宮内菜’, ‘五月菜’の株当たり収量は‘京築在来’と‘芯切菜’の間であった。1月~3月の収量には品種間で有意差は認められなかったが、全期間の収量には11月~12

月の収量と同様な品種間差異が認められた。

第 4-2 表に側枝どり栽培したツケナ品種の株当たり収穫本数および 1 本当たり重量を示した。株当たり収穫本数および 1 本当たり重量に品種間で有意差が認められた。‘京築在来’の 11 月～12 月および 1 月～3 月の株当たり収穫本数は‘宮内菜’と有意差はなかったが、‘五月菜’より有意に多かった。‘芯切菜’の株当たり収穫本数は 1 月～3 月は‘京築在来’より有意に少なかった。収穫物の 1 本当たりの重量は‘五月菜’が収穫時期を通じて最も重く、次いで‘宮内菜’で、‘京築在来’と‘芯切菜’では差が認められなかった。

第 4-3 表に側枝どり栽培したツケナ品種の総 Ca 濃度について示す。‘京築在来’の総 Ca 濃度は $0.88\sim 1.25\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ で推移し、‘宮内菜’および‘五月菜’より有意に高かった。‘芯切菜’の総 Ca 濃度は 3 月を除いて‘京築在来’と差がなかった。第 4-4 表に側枝どり栽培したツケナ品種の水溶性 Ca 濃度、第 4-5 表には塩可溶性 Ca 濃度について示す。水溶性 Ca 濃度は‘京築在来’で $0.44\sim 0.67\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ で推移し、総 Ca 濃度と同様、‘宮内菜’および‘五月菜’より有意に高かった。‘芯切菜’の水溶性 Ca 濃度は 11 月と 3 月を除いて‘京築在来’と差がなかった。塩可溶性 Ca 濃度は 12 月、1 月、3 月で‘京築在来’が‘五月菜’より有意に高かったが、その他の時期や他の品種との間に有意差は認められなかった。

4.1.4 考察

本研究で供試した品種には、11 月～12 月および 11 月～3 月の全期間の株当たり収量に品種間差異が認められた。すなわち‘京築在来’の株当たり収量は‘芯切菜’に比べて高く、有意差はないが、‘宮内菜’、‘五月菜’よりもやや多かった。志賀 (1971) はツケナと同種である *Brassica napus* 種のナタネの抽だいの早晚と初期生育の程度および分枝の発達とは関連し、抽だいが早い品種ほど初期の栄養生長が旺盛で、分枝の発達が良いことを明らかにしている。今回用いた品種の抽だいは‘京築在来’が最も早く 1 月下旬、‘宮内菜’、‘五月菜’、‘芯切菜’で 3 月下旬～4 月上旬であった。11 月～3 月までの株当たりの収穫本数が‘京築在来’で‘五月菜’、‘芯切菜’より有意に多く、‘宮内菜’より多い傾向が認められたのは、このような品種の生理生態の違いによるものと考えられる。しかし、‘宮内菜’および‘五月菜’は‘京築在来’および‘芯切菜’より 1 月～3 月までの 1 本当たり重量が重かったために、‘京築在来’との収量差は有意ではなかった。

総 Ca 濃度には品種間差異が認められた。アブラナ科作物であるケールおよびキャベツの葉の Ca 濃度に品種間差異があることが報告されており (Johnson, 1991a, b; 田中ら, 1996), 今回も同じアブラナ科の側枝どりツケナで品種間差異が認められた。総 Ca および水溶性 Ca 濃度は‘京築在来’で収穫期間を通して‘宮内菜’および‘五月菜’より高かった。また、‘京築在来’と‘芯切菜’を比べると、11 月と 3 月は‘京築在来’の水溶性 Ca 濃度が‘芯切菜’より高かった。

11 月および 2 月の塩可溶性 Ca 濃度およびその他の形態の Ca 濃度に品種間差異がなかったが、この時期の総 Ca 濃度に品種間差異が認められたのは、水溶性 Ca 濃度の差異が影響していた。

以上のことから、側枝どり栽培で収量、総 Ca および人体へ利用されやすい水溶性 Ca 濃度が高い品種は、供試 4 品種の中では‘京築在来’であることが明らかとなった。

4.1.5 摘要

ツケナの側枝どり栽培で総 Ca および水溶性 Ca 濃度を高める栽培法を確立するために、ツケナ

の株当たり収量および化学形態別 Ca 濃度の品種間差異を明らかにした。

側枝どり栽培したツケナの株当たり収量および化学形態別 Ca 濃度には品種間差異が認められた。株当たり収量は‘京築在来’が‘宮内菜’および‘五月菜’よりもやや高く，‘芯切菜’より有意に高かった。

総 Ca 濃度および人体への利用率が高い水溶性 Ca 濃度にも品種間差異が認められ，収穫期間を通して‘京築在来’で‘宮内菜’，‘五月菜’および‘芯切菜’より高かった。

第4-1表 側枝どり栽培したツケナ品種の株当たり収量 (g)

品 種	収 穫 時 期		合 計
	11～12月	1～3月	
京築在来	130.1a ^z	461.3ns	591.4a
宮内菜	118.6ab	457.4	576.0ab
芯切菜	81.5b	321.8	403.3b
五月菜	92.5ab	418.2	510.7ab

^z 表中のアルファベットの異文字間には縦列の品種間に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

第4-2表 側枝どり栽培したツケナ品種の株当たり収穫本数および1本当たり重量

品 種	収 穫 本 数 (本)			1 本 当 たり 重 量 (g)		
	11～12月	1～3月	合 計	11～12月	1～3月	平均
京築在来	11.1a ^z	30.7a	41.8a	11.7b	15.0c	14.1c
宮内菜	9.7ab	22.7ab	32.4ab	12.2ab	20.1b	17.8b
芯切菜	7.7ab	18.5b	26.2b	10.6b	17.4c	15.4c
五月菜	6.3b	15.3b	21.6b	14.7a	27.3a	23.6a

^z 表中のアルファベットの異文字間には縦列の品種間に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

第4-3表 側枝どり栽培したツケナ品種の総Ca濃度 (mg・g⁻¹FW)

品 種	収 穫 時 期				
	11月18日	12月13日	1月10日	2月14日	3月8日
京築在来	0.88a ^z	1.09a	1.13a	0.91a	1.25a
宮内菜	0.66b	0.83b	0.80b	0.78ab	0.84bc
芯切菜	0.75ab	1.00ab	1.16a	0.86ab	0.97b
五月菜	0.62b	0.60c	0.70b	0.70b	0.72c

^z 表中のアルファベットの異文字間には縦列の品種間に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

第4-4表 側枝どり栽培したツケナ品種の水溶性Ca濃度 (mg・g⁻¹FW)

品 種	収 穫 時 期				
	11月18日	12月13日	1月10日	2月14日	3月8日
京築在来	0.47a ^z (53.4) ^y	0.55a (50.5)	0.57a (50.4)	0.44a (48.4)	0.67a (53.6)
宮内菜	0.31b (47.0)	0.38bc (45.8)	0.33b (41.3)	0.32bc (41.0)	0.35c (41.7)
芯切菜	0.39b (52.0)	0.51ab (51.0)	0.59a (50.9)	0.40ab (46.5)	0.46b (47.4)
五月菜	0.29b (46.8)	0.25c (41.7)	0.27b (38.6)	0.27c (38.6)	0.28c (38.9)

^z 表中のアルファベットの異文字間には縦列の品種間に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

^y () 内の値は各品種の総Caに占める水溶性Caの比率 (%)

第4-5表 側枝どり栽培したツケナ品種の塩可溶性Ca濃度 (mg・g⁻¹FW)

品 種	収 穫 時 期				
	11月18日	12月13日	1月10日	2月14日	3月8日
京築在来	0.30ns ^z (34.1) ^y	0.41a (37.6)	0.44a (38.9)	0.38ns (41.8)	0.46a (36.8)
宮内菜	0.24 (36.4)	0.35ab (42.2)	0.36ab (45.0)	0.36 (46.2)	0.38ab (45.2)
芯切菜	0.27 (36.0)	0.39a (39.0)	0.45a (38.8)	0.35 (40.7)	0.39ab (40.2)
五月菜	0.25 (40.3)	0.27b (45.0)	0.33b (47.1)	0.34 (48.6)	0.34b (47.2)

^z 表中のアルファベットの異文字間には縦列の品種間に5%水準で有意差あり
(Tukeyの検定)

^y () 内の値は各品種の総Caに占める塩可溶性Caの比率 (%)

第2節 摘葉が側枝どり栽培したツケナの収量と化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響

4.2.1 緒言

ツケナの側枝どり栽培では、過繁茂による収穫物の徒長を防ぎ、収穫作業を容易にするために摘心後に上位葉の摘葉が行われている。リンゴや西洋ナシでは夏季にせん定を行い葉数を制限すると、果実中の Ca 濃度が高まる(高辻・青葉, 1984; Forshey et al, 1992)。また、トマトでは Ca 欠乏による果実の尻腐れ症の発生が、摘葉により減少する(佐藤ら, 2004)。これらの結果は、ツケナの総 Ca および水溶性 Ca 濃度を摘葉処理によって高めることができる可能性を示唆している。しかし、摘葉処理が側枝どりツケナの収量および化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響については明らかにされていない。

そこで、Ca 供給源としてのナバナの有用性をさらに高める目的で、摘葉処理がナバナの収量および化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響を検討した。

4.2.2 材料および方法

試験は福岡県農業総合試験場豊前分場の水田転換圃場で行った。ツケナ品種‘京築在来’を供試した。2001年9月17日に園芸培土(清新産業)を詰めた10号ペーパーポット(4.7cm×4.7cm×5.0cm)に播種し、ガラス温室内で育苗した。30日間の育苗後、10月16日に定植し、マルチ栽培を行なった。本圃では元肥として炭酸苦土石灰をCaOで66kg・10a⁻¹、N、P₂O₅、K₂Oをそれぞれ13kg・10a⁻¹を施用した。追肥として、11月下旬～1月下旬におよそ20日おきに4回、1回当たりN、P₂O₅、K₂Oをそれぞれ3kg・10a⁻¹を施用した。葉数が約17枚となった11月7日に新葉5枚程度を含む主茎部分を除去した。その後直ちに、残りの主茎の上位から3枚および6枚の葉を、摘葉した2つの処理区(それぞれ3枚摘葉区、6枚摘葉区)と無摘葉区を設けた。なお、ナバナの栽培では一般に摘心後に上位から3枚程度の摘葉を実施している。試験は1区30株とし、3反復で行った。11月7日には摘葉前の6株の展開葉を葉位別に、12月3日および1月15日には、それぞれ処理区の4株の展開葉を主茎と側枝に分けて、自動葉面積計(林電工株式会社製AAM-7)で測定した。

各試験区とも11月19日から2月12日までの間、計6回腋芽から発生した側枝について、基部2葉を残した長さが20～25cmに達したものを収穫した。収穫後、直ちに収穫本数および重量を調査した。その後、収穫物を約5mm角に刻んでCa濃度の分析に供試した。

化学形態別Ca濃度の分析は第1章と同様に行った。総Ca濃度は四つの化学形態のCa濃度の合計値とし、それぞれ新鮮重当たりで表した。

4.2.3 結果

摘葉が側枝どりツケナの葉面積に及ぼす影響を第4-6表に示した。摘葉処理前(11月7日)の1株当たりの葉面積は、主枝で3,349cm²、側枝で1,330cm²であった。葉面積を葉位別に計測した結果から推測すると、3枚摘葉区と6枚摘葉区における摘葉直後の主茎の葉面積は、無摘葉区のそれぞれ66%、26%であった。12月3日における1株当たりの主茎の葉面積は、無摘葉区が5,160cm²、3枚摘葉区が2,149cm²、6枚摘葉区は302cm²であり、摘葉枚数が多くなるほど小さかった。一方、1株当たりの側枝の葉面積は、処理区間に有意差は認められなかった。主茎の葉はいずれの処理区とも、1月15日までに大部分が落葉、枯死した。1月15日における側枝の1株当たりの

葉面積は、6枚摘葉区で無摘葉区、3枚摘葉区より小さかった。摘葉が側枝どりツケナの収量および株当たり収穫本数、1本当たり重量に及ぼす影響をそれぞれ、第4-7表、第4-8表に示した。11月～12月における収量および収穫本数は、処理区間に有意差が認められなかったが、収穫物1本当たりの重量では6枚摘葉区が無摘葉区より有意に重かった。1月～2月における収量は、無摘葉区が1株当たり298g、3枚摘葉区が246g、6枚摘葉区が196gであり、摘葉枚数が多くなるほど減少した。また、1月～2月の収穫物1本当たり重量は処理区間に有意差が認められなかった。11月～2月における全期間の収量を比べると、無摘葉区が1株当たり439g、3枚摘葉区が401g、6枚摘葉区が368gであり、6枚摘葉区は無摘葉区の84%と有意に少なかった。収穫本数も総収量と同様の傾向であった。これに対し、収穫物1本当たりの重量は6枚摘葉区が無摘葉区、3枚摘葉区より有意に重かった。

摘葉が側枝どりツケナの総Ca濃度に及ぼす影響を第4-1図に示した。ツケナの総Ca濃度は処理区間に有意差が認められた。すなわち、11月19日における6枚摘葉区の総Ca濃度は $1.35\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ であり、無摘葉区の $0.65\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ より有意に高かった。また、3枚摘葉区の総Ca濃度も $0.95\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ であり、無摘葉区より高い傾向が認められた。11月28日と12月12日における6枚摘葉区の総Ca濃度は $1.08\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ と $1.17\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ であり、無摘葉区の $0.60\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ と $0.76\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ より有意に高かった。しかし、1月8日以降になると、6枚摘葉区と無摘葉区との間に有意差は認められなかった。3枚摘葉区と6枚摘葉区の総Ca濃度を比べると、11月28日と12月12日において、後者は前者より有意に高く、およそ1.3～1.4倍あった。

摘葉が側枝どりツケナの水溶性Ca濃度に及ぼす影響を第4-2図に示した。水溶性Ca濃度は総Ca濃度と同様に、12月までは摘葉によって高くなった。すなわち、11月19日～12月12日における6枚摘葉区の水溶性Ca濃度は $0.62\sim 0.79\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ であり、無摘葉区の $0.28\sim 0.35\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 、3枚摘葉区の $0.42\sim 0.50\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ より有意に高かった。しかし、1月8日以降では処理区間に差が認められなかった。総Caに対する水溶性Caの比率は、11月19日では6枚摘葉区が58.4%であり、無摘葉区の47.6%より有意に高かった。この比率は11月28日および12月12日でも同様の傾向であったが、1月8日以降には処理区間に有意差は認められなかった。3枚摘葉区と6枚摘葉区における総Caに占める水溶性Caの比率には、有意差が認められなかった（データ略）。

摘葉が側枝どりツケナの塩可溶性Ca濃度に及ぼす影響を第4-3図に示した。塩可溶性Ca濃度は水溶性Ca濃度と同様に、摘葉によって高まる傾向が認められた。すなわち、塩可溶性Ca濃度は、11月19日および11月28日には6枚摘葉区が無摘葉区より有意に高かった。3枚摘葉区と6枚摘葉区の塩可溶性Ca濃度を比べると、11月19日には後者の方が有意に高かったが、12月12日以降は有意差が認められなかった。酢酸可溶性および塩酸可溶性Ca濃度は、いずれの区とも $0.10\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ 以下で推移し、処理区間に有意差は認められなかった（データ略）。

四つの化学形態のCa濃度を比べると、水溶性Ca濃度はいずれの収穫時期や処理区ともに最も高く、次いで塩可溶性Ca濃度、酢酸可溶性Ca濃度の順であった。また、水溶性Caと塩可溶性Caで総Caの85～92%を占めた。

4.2.4 考察

本節では、ナバナについて本葉17枚展開時（11月7日）に上位から5葉を含めて摘心し、さらに上位から3枚ないし6枚を摘葉処理して、その後に発生する側枝の収量および化学形態別Ca濃度がどのように推移するのかを検討した。

その結果、小田原ら(1991)の報告にもあるように、摘葉はツケナの側枝の伸長に大きな影響を及ぼし、1月～2月における側枝の収量は、摘葉枚数が多くなるほど少なかった。このように、ツケナの側枝どり栽培における摘心時の摘葉は収量の低下をもたらすことが明らかとなった。

次に、摘葉がツケナの側枝の総 Ca 濃度および化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響についてみると、無摘葉区では11月～12月における総 Ca 濃度が低く、1月以降、落葉による主茎の葉面積の減少とともに総 Ca 濃度が高くなった。これに対して、6枚摘葉区では収穫期間を通して総 Ca 濃度が高い水準で維持された。また、11月～12月における収穫物の総 Ca 濃度は摘葉枚数が多くなるほど高い傾向にあったが、これは摘葉によって主茎の葉の生長が抑えられ、その影響で側枝に Ca がより多く蓄積したためと推察される。

水溶性 Ca は有機酸塩および無機塩として植物体中に存在する(小西・葛西, 1963a, b; 太田ら, 1970a, b)。植物の根から吸収された Ca は、植物体内では主に有機酸と結合して移動する(三井, 1970)。また、陳・上本(1976)は、トマトおよびハクサイで水溶性 Ca が植物の器官を移動していることを示唆している。本研究では、摘葉によりツケナの側枝の総 Ca 濃度が高くなるとともに水溶性 Ca 濃度も高まった。これらのことから、ツケナを摘葉した場合、水溶性 Ca が側枝により多く転流し、蓄積したものと推察される。このように、摘葉は人体に利用されやすい水溶性 Ca 濃度を高める上で有効であることが示された。摘葉は11月28日までの塩可溶性 Ca 濃度も高めたが、その増加程度は水溶性 Ca 濃度より小さかった。

ナバナの栽培では本研究の3枚摘葉区と同じような摘葉を一般に行っている。この摘葉は株の過繁茂を防ぎ、収穫時の作業性を高める点で重要な作業となっている。しかし、ナバナを摘葉した場合、6枚摘葉区で無摘葉区の84%、3枚摘葉区の91%に収量が減少することから、収量をいかに向上させるかが重要な課題である。ツケナの側枝どり栽培では密植により収量が高まることが報告されており(小田原ら, 1990)、今後は栽植密度の検討により総 Ca および水溶性 Ca 濃度を高く維持しながら、収量を向上させる栽培方法を検討する必要がある。

一方、側枝どりツケナの品質は、1本当たりの重量で格付けされており、10g以上のものが秀品として出荷されている。6枚摘葉区では11月～12月の1本当たりの重量が重く、無摘葉区および3枚摘葉区に比べ等階級が向上した。このように、摘葉によって栽培期間を通して、総 Ca および水溶性 Ca 濃度の高いツケナを生産できることが明らかとなった。

以上のように、ツケナの側枝どり栽培では11月上旬の摘心時に摘葉することによって、初期の収穫物の総 Ca および人体に利用されやすい水溶性 Ca 濃度が高まることが明らかとなった。

4.2.5 摘要

総 Ca および水溶性 Ca 濃度の高いナバナを生産する目的で、摘葉がナバナの側枝の収量、総 Ca および化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響を検討した。

11月上旬の摘心時の摘葉により側枝の伸長が抑えられ、3枚摘葉区および6枚摘葉区における総収量は無摘葉区に比べて、それぞれ9%、16%低下した。その一方で、11月～12月における総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度は、摘葉枚数が多くなるほど高くなった。1月～2月における総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度には、試験区間に有意差がなかった。

以上のことから、側枝どりツケナの収量は摘葉により低下するものの、初期の総 Ca および水溶性 Ca 濃度が高まり、6枚摘葉区では収穫期間を通して高い Ca 濃度を維持できることが示唆された。

第4-6表 摘葉が側枝どリツケナの葉面積 (cm²/株) に及ぼす影響

処理区	11月 7日		12月 3日		1月15日	
	主枝	側枝	主枝	側枝	主枝	側枝
無摘葉区	3,349	1,330	5,160c ^z	2,936a	564	5,229b
3枚摘葉区	—	—	2,149b	2,954a	0	4,776b
6枚摘葉区	—	—	302a	2,453a	0	3,038a

^z 表中のアルファベットの異文字間には縦列の各処理間に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

第4-7表 摘葉が側枝どリツケナの収量 (g/株) に及ぼす影響

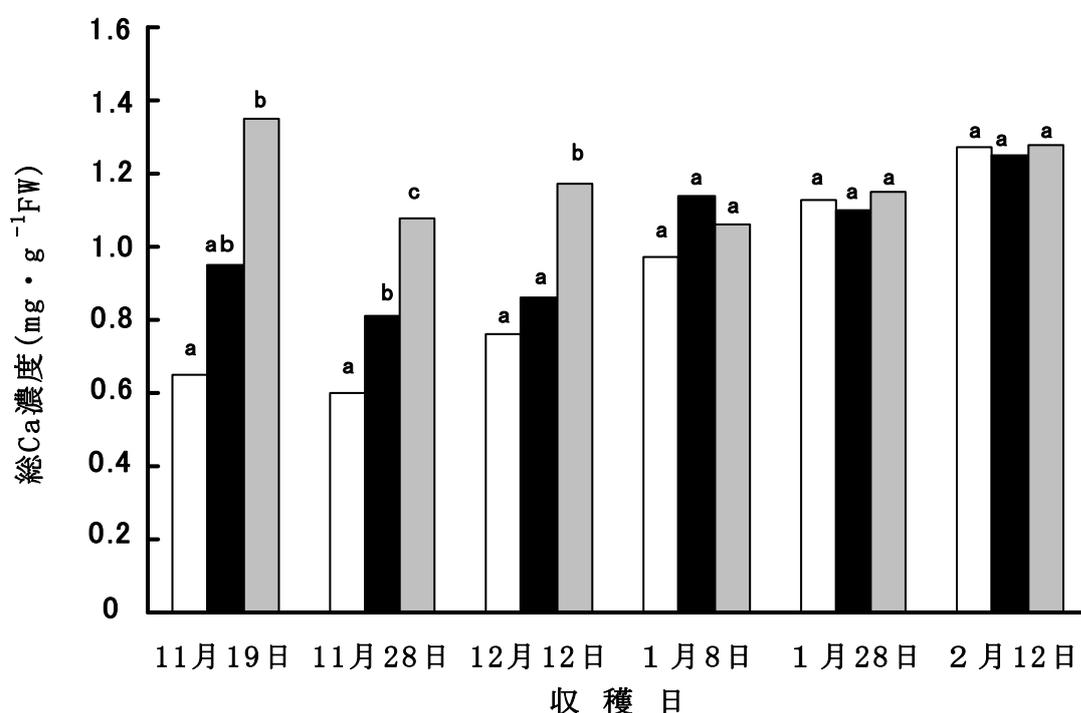
処理区	収 穫 時 期		
	11~12月	1~2月	合 計
無摘葉区	141a ^z	298c	439b
3枚摘葉区	155a	246b	401ab
6枚摘葉区	172a	196a	368a

^z 表中のアルファベットの異文字間には縦列の各処理間に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

第4-8表 摘葉が側枝どりツケナの株当たり収穫本数および1本あたり重量に及ぼす影響

処理区	時期	収穫本数 (本)			1本あたり重量 (g)		
		11~12月	1~2月	全期間	11~12月	1~2月	全期間
無摘葉区		11.7a ^z	16.7b	28.4b	12.0a	17.8a	15.4a
3枚摘葉区		11.4a	13.7ab	25.1ab	13.5ab	17.9a	15.9a
6枚摘葉区		10.6a	10.6a	21.2a	16.2b	18.4a	17.3b

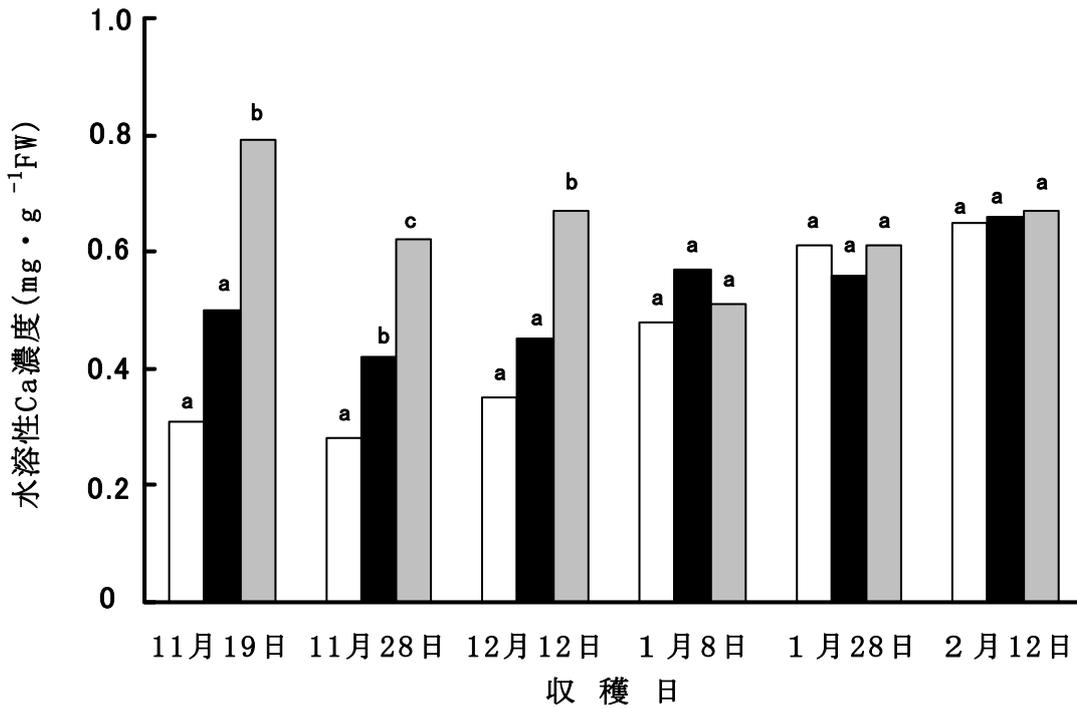
^z 表中のアルファベットの異文字間には縦列の各処理間に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)



第4-1図 摘葉が側枝どりツケナの総Ca濃度に及ぼす影響

図中のアルファベット異文字間には各収穫日の処理間に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

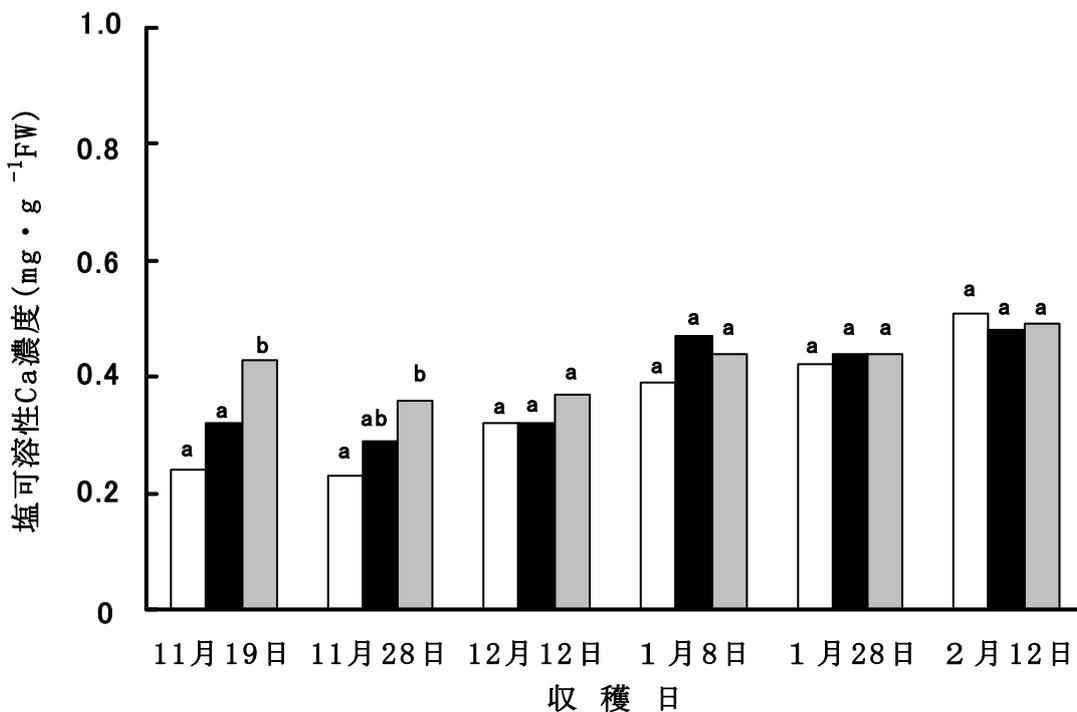
□ 無摘葉区 ■ 3枚摘葉区 ▨ 6枚摘葉区



第4-2図 摘葉が側枝どりツケナの水溶性Ca濃度に及ぼす影響

図中のアルファベット異文字間には各収穫日の処理間に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

□ 無摘葉区 ■ 3枚摘葉区 ▨ 6枚摘葉区



第4-3図 摘葉が側枝どりツケナの塩可溶性Ca濃度に及ぼす影響

図中のアルファベット異文字間には各収穫日の処理間に5%水準で有意差あり (Tukeyの検定)

□ 無摘葉区 ■ 3枚摘葉区 ▨ 6枚摘葉区

総合考察

近年、国民の健康や栄養に対する意識が高まり、消費者は農産物に対して高い栄養価や安全性を求めている。一方、生産者は産地間競争の激化に伴い、市場で有利な販売を行うために品質の高い農産物の生産を目指している。野菜の品質構成要素には嗜好特性、栄養特性、安全性、生体調節機能特性等があるが、市場での野菜の価格は形状、色、鮮度等の嗜好特性によって決められている。しかし、栄養特性は野菜の品質の本質であり、消費者の健康意識の高まりにより購買意欲に影響を与える重要な要素となってきている。Caは人体にとって重要な栄養成分であるとともに、作物にとっても窒素、リン、カリウムと同様、必須元素の一つである。そのため作物の総Ca濃度と栽培条件との関係については、多くの報告がなされている (Palzkill et al, 1976; Palzkill・Tibbits, 1977; Collier・Tibbits, 1984; 並木, 1986; Johnson, 1991a, b; 宇井・高野, 1995a, b, c)。しかし、ヒトの栄養成分としてのCaに着目する場合、Caの人体での利用率がその化学形態によって異なることから (Tisdall・Drake, 1938; Kempster et al, 1940; 原, 1951; Patton・Sutton, 1952; Patton, 1955; Heaney, 1988; 奥, 1995), 総Ca濃度とともに作物に含まれるCaを化学形態別に調べ、栽培条件との関係を明らかにする必要がある。もし、農産物に含まれるCaのうち人体での利用率が高いCa濃度を効率的に高めることができれば、栄養面に優れた商品として差別化でき、その農産物の消費拡大に繋がるとともに有利販売が可能になると考えられる。

コマツナ、ミズナ等のツケナは、他の野菜に比べてCa濃度が高い (香川, 2005)。福岡県では本研究の対象とした側枝どりのツケナ、いわゆるナバナの栽培が始まったが、ナバナのような新しいツケナの生産振興のためには、新たな需要を掘り起こし消費を拡大することが必要不可欠である。そのためには、ナバナに含まれる人体に利用されやすい化学形態のCa濃度を高めて、他の野菜と差別化することが重要である

そこで、ツケナに含まれる化学形態別Ca濃度と栽培条件との関係を明らかにして、人体での利用率が高い化学形態のCa濃度を高める栽培方法を確立するために、収穫部位に含まれる化学形態別Ca濃度を(1)ツケナと他の葉菜、(2)二つの栽培法、側枝どり栽培と株どり栽培とで比較するとともに、(3)株どり栽培での収穫時期および窒素施用量の影響、(4)側枝どり栽培での品種および摘葉程度が化学形態別Ca濃度に及ぼす影響を検討した。

1. ツケナと他の葉菜との化学形態別Ca濃度の比較

側枝どりするツケナ、株どりするツケナおよび数種葉菜のCaを水溶性、塩可溶性、酢酸可溶性および塩酸可溶性の四つの化学形態に分けて、それぞれの収穫部位の新鮮物当たりの濃度を比較した。

側枝どりおよび株どりするツケナの総Ca濃度は他の葉菜に比べ著しく高く、総Caのおよそ50~60%が水溶性Caであった。キャベツも水溶性Caが主な形態であったが、その濃度はツケナに比べて極端に低かった。ホウレンソウのCaはそのほとんどが塩酸可溶性Caで、水溶性Caは極僅かしか含まれていなかった。Caは体内で有機酸と水溶性の塩を形成し (三井, 1970), トマトやハクサイの開花期には葉のCa濃度の上昇とともに、有機酸の濃度も高まることが知られている (陳・上本, 1976)。ツケナの有機酸濃度はレタス、キャベツおよびホウレンソウに比べ高いことから (堀江, 2009), 他の葉菜に比べ、ツケナの総Ca濃度が高いのは有機酸濃度が高いことと関連しているものと推察される。

水溶性、塩可溶性、酢酸可溶性、塩酸可溶性の四つの化学形態のうち水溶性 Ca および酢酸可溶性 Ca は人体での利用率が高く (Kempster et al, 1940; 速水, 1940; Patton・Sutton, 1952; Patton, 1955), 塩可溶性 Ca および塩酸可溶性 Ca は人体での利用率が低い (原, 1951; 奥, 1995)。ツケナ 2 品種およびキャベツは他の葉菜類に比べ、総 Ca に占める水溶性 Ca の比率が高かったことから、これらの葉菜に含まれる Ca は人体への利用率が高いと考えられる。逆に、ハウレンソウに含まれる Ca はそのほとんどが塩酸可溶性 Ca であったことから、人体への利用率が低いと考えられる。野菜類に含まれる Ca の人体への利用率を牛乳の利用率と比べた報告は多い。そのなかで、田村ら (1954) はキャベツの Ca の利用率は、牛乳の Ca と同等であることを明らかにしている。また、Heaney ら (1988) はハウレンソウの Ca の利用率は牛乳の 18% で著しく低く、これはハウレンソウの Ca のほとんどがシュウ酸と結合していることによることを明らかにしている。今回、本研究で明らかになったキャベツの総 Ca に占める水溶性 Ca の比率やハウレンソウの塩酸可溶性 Ca の比率は、これらの結果を裏付けるものと考えられる。

以上のことから、葉菜の総 Ca 濃度および化学形態別 Ca 濃度には大きな違いが認められ、ツケナは総 Ca 濃度が高いだけでなく、人体での利用率が高い水溶性 Ca 濃度も高かったことから、葉菜のなかでも Ca 供給源として有望であることが明らかとなった。

2. ツケナの栽培方法が化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響

福岡県で行われている二つの栽培方法、側枝どり栽培と株どり栽培による化学形態別 Ca 濃度を、1 月中旬、1 月下旬、2 月中旬で比較した。その結果、両栽培方法には 1 月中旬の総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度に差が認められ、株どり栽培が側枝どり栽培に比べ、総 Ca 濃度で 1.3 倍、水溶性 Ca 濃度で 1.5 倍高かった。著者らは株どり栽培したツケナの総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度を部位別に比べた結果、葉が茎よりも主茎の葉が側枝の葉よりも高かったことを明らかにした (林田ら, 未発表)。株どり栽培では収穫部位が株全体の葉で総 Ca および水溶性 Ca 濃度の高い下位葉が含まれること、側枝どり栽培では側枝の葉および茎を収穫することから、両栽培方法で総 Ca 濃度や水溶性 Ca 濃度が異なったのは、これらの収穫部位の Ca 濃度の違いを反映したものと考えられる。また、本章の株どり栽培の 1 月中旬収穫の総 Ca および水溶性 Ca 濃度の値は、第 1 章の 12 月中旬に収穫したツケナ ‘小松菜’ と同等であった。側枝どり栽培の値も第 1 章の値と比べて高かった。このことは収穫時期等の栽培条件を検討することで、総 Ca 濃度とともに水溶性 Ca 濃度をさらに高めることができる可能性を示唆していた。

以上のことから、側枝どり栽培用の品種 ‘京築在来’ を株どり栽培することで総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度を高められることが明らかとなった。

3. ツケナの株どり栽培における収穫時期および窒素施用量が化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響

第 2 章で側枝どり栽培に比べ、株どり栽培で総 Ca および水溶性 Ca 濃度が高かったことから、株どり栽培で更に化学形態別 Ca 濃度を高める栽培方法を明らかにするため、収穫時期および窒素施用量が化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響について検討した。

まず、ツケナ品種 ‘京築在来’ および ‘宮内菜’ の収穫時期の違いによる葉重および化学形態別 Ca 濃度について検討した。2 品種とも 11 月の葉重は極端に軽かったが、12 月には急激に増加し最も重くなった。その後、‘京築在来’ では 3 月まで減少した。‘宮内菜’ も同様に 2 月まで減少したが、3 月には再び増加し 12 月と同程度になった。

総 Ca 濃度は 2 品種とも 2 月までをみると 11 月が最も高く、12 月以降低下した。その後、‘京築在来’のみ 3 月に増加した。化学形態別にみると、水溶性 Ca および塩可溶性 Ca が総 Ca の大部分を占め、人体への利用率が高い水溶性 Ca 濃度は 11 月が最も高く、それ以降、総 Ca 濃度と同様に推移した。塩可溶性 Ca 濃度の推移は品種によって異なり、‘京築在来’では 11 月～1 月で差が認められなかったが、2 月以降増加した。‘宮内菜’では栽培期間を通して一定であった。このように総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度は収穫時期によって変動した。植物は一般に高い温度では無機イオンの吸収や移行が促進されるが、適温が存在する(平田・佐々木, 1981)。収穫時期の違いによって総 Ca 濃度および化学形態別 Ca 濃度が異なった原因の一つは、生育温度の違いによるものと考えられた。そこで、第 2 節でツケナの生育および化学形態別 Ca 濃度に及ぼす生育温度の影響を検討した。その結果、2 品種とも 7℃より 17℃で展葉が早く、葉重が重かった。総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度は 2 品種とも 7℃より 17℃で高かった。第 1 節のツケナの生育期間中の平均気温は、定植後から 11 月の収穫日までは 14.3℃、11 月の収穫日から 12 月の収穫日までは 11.0℃、同様に 12 月から 1 月までは 7.3℃、1 月から 2 月までは 4.7℃、2 月から 3 月までは 8.6℃であったことから、‘宮内菜’の総 Ca および水溶性 Ca 濃度の収穫時期別の推移は、温度の違いが大きく影響したのと考えられる。‘京築在来’の 11 月から 2 月までのこれらの Ca 濃度の推移も生育温度が影響していると考えられたが、3 月の総 Ca 濃度と水溶性 Ca 濃度は温度から予想されるよりも高くなった。従って、温度以外の要因の影響が考えられる。陳・上本(1976)はハクサイでは開花期以降、Ca 吸収量が増加するとともにクエン酸やリンゴ酸の含量が増加し、吸収された Ca がこれらの有機酸と塩を形成して水溶性 Ca として移動することを報告している。‘京築在来’の開花期は 2 月 18 日であったことから‘京築在来’では開花によりハクサイと同様 Ca 吸収量が増加し、水溶性 Ca 濃度が高まったのと考えられる。

第 2 節で株どり栽培したツケナの総 Ca および水溶性 Ca 濃度は、生育が促進される温度で高まった。一般に作物の生育は、窒素の施用量に影響され(相馬ら, 1985)、キャベツでは窒素施用量を増やすと結球重、窒素含有率および Ca 含有率が増加し(田中ら, 1996)、コマツナの養液栽培では窒素の有無により、生体重、水溶性 Ca 濃度および不溶性 Ca 濃度が影響される(出口・太田, 1959)。以上のことから窒素施用量についても検討する必要があると思われた。そこで、窒素施用量を 10a 当たり成分量で 12.5kg から 50.0kg まで 4 水準設けて、窒素施用量と葉重、化学形態別 Ca 濃度および硝酸イオン濃度との関係を検討し、総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度を高めるための窒素施用量を明らかにしようとした。

その結果、ツケナの株当たり葉重は、12 月中旬収穫では 25.0kg 以上施用すると重くなった。1 月中旬収穫では、窒素施用量が多いほど葉重が重くなった。ツケナの水溶性 Ca 濃度は 12 月中旬、1 月中旬ともに 25.0kg 以上施用すると高まったが、12 月中旬と 1 月中旬の水溶性 Ca 濃度を比べると 12 月中旬が高かった。

野菜栽培では近年、生産コストの削減とともに環境への影響に配慮して、地下水や湖沼等の汚染に繋がる窒素の施肥量を削減する取り組みが行われている。これらの観点からジュース用原料としてツケナを栽培する場合、窒素施用量は成分量で 10a 当たり 25.0kg が適切であると考えられる。

第 3 章の結果をまとめるとツケナを株どり栽培する場合は、窒素を成分量で 10a 当たり 25.0kg 施用し、12 月中旬に収穫することで、葉重、総 Ca および水溶性 Ca 濃度を高められることが明らかとなった。また、Ca 濃度が低下する冬期には、トンネル被覆等により生育温度を 17℃程度に保

つことで、総 Ca および水溶性 Ca 濃度を高く維持できる可能性が示唆された。

4. ツケナの側枝どり栽培における品種および摘葉程度が化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響

第 3 章では株どり栽培で、総 Ca および水溶性 Ca 濃度を高める栽培方法について明らかにしたが、福岡県では側枝どり栽培が主体であることから、本章では側枝どり栽培で総 Ca および化学形態別 Ca 濃度を高める栽培方法を明らかにするために、品種および摘葉程度がこれらの Ca 濃度に及ぼす影響について検討した。

まず、‘京築在来’、‘宮内菜’、‘芯切菜’、‘五月菜’の 4 品種の化学形態別 Ca 濃度の品種間差異について検討した。供試した品種の株当たり収量は、‘京築在来’、‘宮内菜’、‘五月菜’で高く、‘芯切菜’で低かった。総 Ca および化学形態別 Ca 濃度にも品種間差異が認められ、収穫期間を通して‘京築在来’で他の 3 品種より総 Ca 濃度、水溶性 Ca 濃度および塩可溶性 Ca 濃度が高かった。

第 2 節では総 Ca および水溶性 Ca 濃度の高かった品種‘京築在来’を供試して、摘葉程度がこれらの Ca 濃度に及ぼす影響を検討した。ツケナの側枝どり栽培では、本葉 17 葉期に腋芽の伸長を促すために生長点を含む上位 5 節を摘心すると同時に、過繁茂による収穫物の徒長防止と収穫作業を容易にするために摘心後に上位葉の摘葉が行われている。一般に上位 2~3 葉が摘葉されており、上位 4~5 葉までの摘葉は一次側枝の伸長速度に影響を及ぼさないとされている(小田原ら, 1991)。11 月上旬の摘心時に主茎の葉を 6 枚摘葉すると、11 月~12 月における総 Ca 濃度および水可溶性 Ca 濃度は、それぞれ無摘葉に比べ高まったが、株当たり収量が無摘葉より減った。しかし、実際の栽培農家が行っている 3 枚程度の摘葉と比べると収量は同程度で、総 Ca および水可溶性 Ca 濃度が高まり、人体への利用率の高い水溶性 Ca 濃度はおよそ 1.5 倍になった。加えて、側枝どりのツケナでは収穫物 1 本当たり重量で格付けされ、10g 以上のものが秀品として出荷されるが、摘心時に 6 枚摘葉することで 1 本当たり重量が重くなり、品質の向上も図れた。

第 4 章の結果をまとめるとツケナを側枝どり栽培する場合は、品種‘京築在来’を用いて、摘心時に主茎の上位 6 葉を摘葉することで総 Ca 濃度および人体へ吸収されやすい水溶性 Ca 濃度を高められることが明らかとなった。

以上本研究では、ツケナの Ca、なかでも人体での利用率が高い水溶性 Ca 濃度を高める栽培方法について明らかにした。ツケナの総 Ca 濃度は様々な栽培条件によって変動したにも関わらず、酢酸可溶性 Ca 濃度や塩酸可溶性 Ca 濃度はほとんど変動しなかった。それに対して、水溶性 Ca 濃度や塩可溶性 Ca 濃度は栽培条件によって変動し、なかでも水溶性 Ca 濃度は総 Ca 濃度の変動に合わせて大きく増減した。このことから、ツケナでは総 Ca 濃度が高まる条件では、同時に水溶性 Ca 濃度も高まるものと考えられる。

今回、株どり栽培で元肥の窒素を適正に施用し、12 月中旬に収穫すれば、県内で主に行われている側枝どり栽培に比べて、人体へ吸収されやすい水溶性 Ca 濃度を高められることが明らかとなった。消費者は農産物に高い栄養価や機能性を期待しているが、野菜の摂取量は年々減少している。このためツケナを原料とした人体に吸収されやすい Ca を多く含むジュース等の生産販売が可能になれば、消費者が手軽に飲むことができ、野菜の消費拡大とツケナの生産振興に繋がるものと考えられる。

野菜の販売価格は市場では外観や鮮度によって決められ、その栄養的な特性は反映されない。

この原因の一つとして、時期や栽培方法により野菜の栄養成分の濃度が変動するため個々に成分を表示し、それを保証することが困難なことが考えられる。一方で、モモやリンゴ等の果実類の選果では、迅速な測定ができる糖度センサーを活用して食味を左右する糖度を非破壊で個々に計測し、格付けしている（農林水産省果樹試験場，1995）。ツケナの Ca 濃度を個々に非破壊で迅速に計測し、選別する実用的なシステムはないが、サトウキビでは、ショ糖濃度に基づいて取引価格が決められている（甘味資源振興会，1995）。この場合、加工工場に出荷されたサトウキビのショ糖濃度をトラック単位で近赤外分光分析計で迅速に測定し、取引価格に反映させている。このように対象とする成分の濃度の測定が迅速にでき、サトウキビのような出荷単位の大きい原料用の作物では、品質評価に労力が掛からないため濃度の違いによる取引が可能になっている。近年、作物体中の Ca 等の無機成分濃度を簡易で迅速に測定することができる小型反射光度計が開発された（建部・米山，1995a；鈴木，2002）。この小型反射光度計を活用して、原料用として出荷されたツケナに含まれる総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度を加工工場に測定することで、Ca による差別販売が可能になり生産者の所得の向上にも繋がるものと考えられる。

最後に、今回明らかにしたツケナの人体へ吸収されやすい水溶性 Ca 濃度を高める栽培技術は、厚生労働省が指摘する日本人の慢性的な Ca 摂取不足の克服にも貢献するものと考えられる。

総 括

カルシウム (Ca) は人間にとって必要不可欠な栄養成分であるが、人体における利用率は化学形態によって異なることが明らかにされている。食物の中で野菜は重要なCa供給源の一つであり、なかでもアブラナ科野菜 (ツケナおよびカブなど) はCa濃度の高いことが知られている。作物のCaの化学形態に関する研究はほとんどがCaの植物体内での生理的な役割を明らかにするために、ハクサイの栄養生長期および生殖生長期における生理的役割や、ツケナの水溶性Caと窒素代謝との関係などについて調べられている。しかし、栄養成分としてのCaに着目し、その濃度を積極的に高める栽培方法についての研究はない。

福岡県では、側枝どりのツケナ (*Brassica napus*)、いわゆるナバナの栽培が盛んである。また、一部でジュース原料用として株どり栽培も行われている。そこで、これらツケナの収穫部位に含まれる化学形態別Ca濃度と栽培条件との関係を明らかにして、人体での利用率の高い形態のCa濃度を高める栽培方法を確立するために、収穫部位に含まれる化学形態別Ca濃度を(1)ツケナと他の葉菜、(2)側枝どり栽培と株どり栽培で比較するとともに、(3)株どり栽培での収穫時期および窒素施用量の影響、(4)側枝どり栽培での品種および摘葉程度が化学形態別Ca濃度に及ぼす影響を検討した。

1. ツケナと他の葉菜との化学形態別Ca濃度の比較

ツケナに含まれる化学形態別Caの特徴を明らかにするため、ツケナおよび数種葉菜のCaを水溶性、塩可溶性、酢酸可溶性および塩酸可溶性の四つの形態別に分析して、それぞれの収穫部位の新鮮重当たりの濃度を比較した。有機酸塩および無機塩などで構成される水溶性Caおよびリン酸塩などで構成される酢酸可溶性Caは人体に利用されやすい。これに対して、細胞壁のペクチンと結合した塩可溶性Caおよびシュウ酸Caなどで構成される塩酸可溶性Caは利用されにくいことが明らかにされている。ツケナ、ハウレンソウ、レタスおよびキャベツを8月下旬~10月中旬に播種し、それぞれの一般的な収穫期に収穫した。なお、ツケナとしては‘小松菜’を株どり、‘京築在来’を側枝どりした。収穫部位の新鮮重当たりの化学形態別Ca濃度を比較した結果、総Ca、水溶性Caおよび塩可溶性Caの濃度はツケナ‘小松菜’で最も高く、次いでツケナ‘京築在来’で高かった。酢酸可溶性Ca濃度はいずれの葉菜でも低く、ツケナと他の葉菜とで大きな差はなかった。

以上のことから、ツケナは葉菜のなかで総Ca濃度および人体への利用率が高い水溶性Ca濃度が高いことが明らかとなった。

2. ツケナの栽培方法が化学形態別Ca濃度に及ぼす影響

福岡県内では側枝どり栽培が主体であるが、一部野菜ジュースの原料として株どり栽培がされている。そこで、‘京築在来’を側枝どりと株どり栽培し、収穫方法の違いが化学形態別Ca濃度に及ぼす影響を検討した。9月中旬に播種し、10月中旬に圃場に定植し、1月中旬から2月中旬まで3回収穫した。

その結果、総Caおよび水溶性Ca濃度は、1月下旬および2月中旬収穫では両栽培方法間に差がなかったが、初期の1月中旬収穫の場合、株どり栽培では、側枝どり栽培に比べ、総Caおよび水溶性Ca濃度が高かった。特に、株どり栽培の水溶性Ca濃度は側枝どり栽培の1.5倍であった。

株どり栽培においては3回の収穫中1月中旬収穫で水溶性Ca濃度が高かった。

以上のことから、ツケナ‘京築在来’の水溶性Ca濃度を高めて付加価値をつけるには、県内で栽培が多い側枝どり栽培よりも、株どり栽培すると良いことが明らかとなった。

3. ツケナの株どり栽培における収穫時期および窒素施用量が化学形態別Ca濃度に及ぼす影響

株どり栽培における収穫時期および窒素施用量の違いによる影響を検討し、水溶性Ca濃度を高めるための栽培条件を明らかにしようとした。ツケナ‘京築在来’および‘宮内菜’を9月中旬に播種して、雨除け施設で育苗後、10月中旬に圃場に定植した。11月から3月まで毎月株どり収穫したところ、葉重は‘京築在来’、‘宮内菜’ともに12月が最も重く、その後、‘京築在来’では3月には12月の半分以上まで減少したが、‘宮内菜’は2月まで減少した後、3月に12月の値に増加した。総Caおよび水溶性Ca濃度は、2品種とも11月で最も高く、次いで12月で高かった。11月に比べた12月の水溶性Ca濃度は‘京築在来’で7割、‘宮内菜’で6割であった。2品種の総Caおよび水溶性Ca濃度を比べると、いずれの時期でも‘京築在来’で高かった。以上のことから、株どり栽培では従来は1月から2月に収穫されていたが、水溶性Ca濃度を高めながら高い収量を得るには12月に収穫すると良いことが明らかとなった。

収穫時期によって総Caおよび水溶性Ca濃度の変動したのは、一つには生育温度の影響によるものと考えられたため、生育温度と化学形態別Ca濃度との関係を明らかにしようとした。ツケナ‘京築在来’および‘宮内菜’を9月上旬に播種して、雨除け施設で育苗後、ワグナーポットに定植し、戸外に20日間、17℃に制御した人工気象室に25日間置いた後、日長12時間の条件下で7℃、17℃および27℃の異なる温度に制御した人工気象室で22日間栽培した。その結果、2品種とも17℃で最も生育が優れ、葉重が重くなった。総Caおよび水溶性Ca濃度も17℃で最も高くなった。両品種を比較すると、17℃での両濃度は‘京築在来’で高かった。植物の生育や無機イオンの吸収・移行には適温が存在することが知られているが、ツケナの場合、17℃において生育および根からのCaの吸収・移行が促進されるが、後者がより促進されるために、総Caおよび水溶性Caの濃度が高まったものと考えられる。この温度反応が12月に高Ca濃度のツケナが収穫できた原因と考えられる。

生育が促進される温度で総Caおよび水溶性Ca濃度が高まったこと、Caは硝酸が作物に吸収される際に対イオンとして同時に吸収されることから、窒素施用量が総Caおよび水溶性Ca濃度に影響を及ぼすことが考えられた。そこで、‘京築在来’を9月下旬に播種して雨よけ施設で育苗した後、窒素を10a当たり成分量で12.5kg、25.0kg、37.5kgおよび50.0kg施用した圃場に、10月下旬に定植し、12月中旬および1月中旬に収穫した。その結果、12月中旬収穫では葉重は25.0kg以上の区で重かったが、総Caおよび水溶性Ca濃度は25.0kg区および37.5kg区で最も高かった。1月中旬収穫では、葉重は37.5kg区および50.0kg区で最も重く、25.0kg区では50.0kg区の7割であった。総Caおよび水溶性Ca濃度は25.0kg以上の区で高かった。収穫時期で比べると、水溶性Ca濃度は全ての窒素区において12月中旬で高かった。以上のことに施肥量の節減化の観点を加えると、ツケナを株どり栽培する場合は、窒素を成分量で10a当たり25.0kg施用し、12月中旬に収穫することで、葉重、総Caおよび水溶性Ca濃度が高まることが明らかとなった。また、気温が低下する時期には、トンネル被覆などにより生育温度を17℃程度に保つことで、総Ca濃度および水溶性Ca濃度を高く維持することができる可能性が示された。

4. ツケナの側枝どり栽培における品種および摘葉程度が化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響

株どり栽培の方が側枝どり栽培よりも総 Ca および水溶性 Ca 濃度が高かったが、福岡県では側枝どり栽培が主に行われているので、側枝どり栽培における品種および摘葉程度の影響を検討した。まず、‘京築在来’，‘宮内菜’，‘芯切菜’および‘五月菜’の4品種を用いた。9月上旬に播種し、9月下旬に圃場に定植し、11月から3月まで側枝を収穫した。その結果、11月から3月までの総収量は‘京築在来’，‘宮内菜’および‘五月菜’に差はなく、これら3品種に比べ、‘芯切菜’で低かった。総 Ca および水溶性 Ca 濃度は、11月から3月までの収穫期間を通じて‘京築在来’で高く、‘宮内菜’および‘五月菜’で低かった。ただし、12月から2月までの収穫においては、それらの濃度は‘京築在来’に加えて‘芯切菜’でも高かった。以上のことから、側枝どり栽培では‘京築在来’が収量、総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度が高く有望であった。

次に、摘葉程度の影響について検討した。側枝どり栽培では側枝の伸長を促すため摘心が行われている。産地では、この摘心と同時に株の内部の採光を良好にし、収穫作業をしやすいするために主茎の摘葉が行われている。落葉果樹では夏季に剪定を行って葉数を制限することで果実中 Ca 濃度が高まり、トマトにおいては摘葉によって尻腐れ症の発生が減少することが明らかにされている。‘京築在来’を9月中旬に播種し、雨よけ施設で育苗した苗を10月中旬に圃場に定植した。摘葉処理を主茎が本葉17枚になった11月上旬の摘心時に行い、上位から3枚および6枚の葉を除去した3枚摘葉区および6枚摘葉区、対照区としての無摘葉区の3処理区を設け、11月から2月まで収穫した。その結果、11月から12月の収量には摘葉による差は認められなかったが、1月から2月の収量は摘葉により低くなり、全期間の総収量は3枚摘葉区では無摘葉区の91%、6枚摘葉区では84%に減少した。しかし、品質の重要な項目である側枝1本当たりの重量は6枚摘葉区が他区よりも重かった。総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度は1月および2月収穫では摘葉の程度によって影響されなかったが、11月から12月収穫では摘葉枚数が多くなるほど高くなった。総 Ca 濃度は6枚摘葉区が無摘葉区の1.5~2.1倍、3枚摘葉区の1.3~1.4倍、水溶性 Ca 濃度はそれぞれ1.9~2.5倍、1.5~1.6倍であった。6枚摘葉区では水溶性 Ca 濃度は他の時期の収穫に比べ1月収穫で低かった。以上のことから、ツケナ‘京築在来’の側枝どり栽培では、摘心時に6枚程度摘葉することによって、初期収穫時の収穫部位に含まれる水溶性 Ca 濃度を高めることができることが明らかとなった。

本研究では、ツケナは他の葉菜類に比べ総 Ca 濃度、なかでも人体への利用率の高い水溶性 Ca 濃度が高いことから、Ca 供給源として有望であり、これらの Ca 濃度を高めるには、‘京築在来’を株どり栽培し、窒素施用量を10a 当たり 25.0kg 施用して12月中旬に収穫すると良いことが明らかとなった。また、株どり栽培よりもこれらの Ca 濃度が低い側枝どり栽培においては、‘京築在来’を用いて、摘心時に6枚程度摘葉することによって、これらの Ca 濃度を高めることができることが明らかとなった。厚生労働省が発表している国民栄養調査の結果は、日本人の慢性的な Ca の摂取不足を指摘しているので、本研究の成果はその克服に貢献するものと考えられる。さらに、ツケナの機能性野菜としての評価を高めることにも役立ち、産地の振興に寄与するものと考えられる。

総 摘 要

人体に利用されやすい Ca 濃度が高いツケナの栽培方法を確立するため、以下の実験を行った。

ツケナと他の葉菜との化学形態別 Ca 濃度の比較

ツケナとその他葉菜との新鮮重当たりの化学形態別 Ca 濃度を比較した。総 Ca 濃度、水溶性 Ca 濃度および塩可溶性 Ca 濃度はツケナ‘小松菜’で最も高く、次いでツケナ‘京築在来’（側枝どり）で高かった。酢酸可溶性 Ca 濃度はいずれの葉菜も低く、ツケナと他の葉菜とで大きな差はなかった。ツケナに含まれる Ca は主に水溶性 Ca であったが、ハウレンソウに含まれる Ca はほとんどが塩酸可溶性 Ca であった。水溶性 Ca が人体に利用されやすいことから、ツケナは人体への Ca 供給源として有望なことが明らかとなった。

ツケナの栽培方法が化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響

ツケナ‘京築在来’を用いて側枝どりおよび株どり栽培し、化学形態別 Ca 濃度の違いを検討した。総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度は、1 月下旬および 2 月中旬収穫では両栽培方法間に差はなかったが、1 月中旬収穫の場合、株どり栽培のほうが高かった。従って、ツケナ‘京築在来’の総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度を高めるには、株どり栽培すると良いことが明らかとなった。

ツケナの株どり栽培における収穫時期および窒素用量が化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響

‘京築在来’および‘宮内菜’を用いて、化学形態別 Ca 濃度等に及ぼす収穫時期の影響を検討した。総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度は 2 品種とも 11 月中旬が最も高く、次いで 12 月中旬で高く、12 月以降低下した。しかしながら、葉重は 2 品種とも 12 月中旬が最も重く、1 月中旬以降減少し、‘宮内菜’では 3 月中旬に 12 月中旬と同程度まで増加した。以上のことから、総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度を高めながら高い収量を得るには、12 月中旬に収穫すると良いことが明らかになった。

次に化学形態別 Ca 濃度に及ぼす温度の影響を‘京築在来’および‘宮内菜’を用いて検討した。7℃、17℃および 27℃の処理区間では、17℃区で葉重が最も重く、総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度も高かった。このことから、生育温度が不良の場合、温度を制御することによって Ca 濃度の高いツケナを生産することが可能であることが示された。

更に、10a 当たり窒素を 12.5、25.0、37.5、50.0kg 施用したことによる影響を検討した。葉重は 12 月 16 日には 25.0kg~50.0kg 区で重く、1 月 13 日には 37.5kg~50.0kg 区で重かった。水溶性 Ca 濃度は 12 月 16 日には 25.0kg~37.5kg 区が、1 月 13 日には 25.0kg~50.0kg 区が高かった。以上のことに施肥量節減を加味すると、ツケナの水溶性 Ca 濃度を高めるためには、窒素を 10a 当たり 25.0kg 施用すると良いことが明らかとなった。

ツケナの側枝どり栽培における品種および摘葉程度が化学形態別 Ca 濃度に及ぼす影響

水溶性 Ca 濃度が高いツケナの生産においては、株どり栽培の方が側枝どり栽培よりも適するが、福岡県では側枝どり栽培が主に行われているので、側枝どり栽培にはどのような品種が適するかを検討した。総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度は収穫期間を通して‘京築在来’の方が‘宮内菜’、‘五月菜’および‘芯切菜’より高かった。株当たり収量は‘京築在来’が‘宮内菜’および‘五

月菜’と同等であったが，‘芯切菜’より高かった。

次に，摘葉の影響を検討した。総 Ca 濃度および水可溶性 Ca 濃度は，1 月～2 月では処理区間に有意差がなかったが，11 月～12 月においては摘葉枚数が多くなるほど高く，6 枚摘葉区では収穫期間を通して高かった。11 月上旬の摘心時の摘葉により側枝の伸長が抑えられたため，3 枚摘葉区および 6 枚摘葉区の総収量は無摘葉区に比べて低下したが，低下はそれぞれ 9%，16%と僅かであった。従って，側枝どりツケナの収量は摘葉により低下するものの，初期の総 Ca 濃度および水溶性 Ca 濃度が高まった。

以上のことから，側枝どり栽培においては‘京築在来’を用いて摘心時に 6 枚摘葉する栽培が適することが明らかとなった。

謝 辞

本論分をとりまとめるにあたり，東京農業大学農学部教授三浦周行博士には懇切丁寧なご指導，御校閲ならびに暖かい御助言を賜った。ここに記して深甚なる謝意を表す。また，同教授杉山信男博士，同教授市村匡史博士，同教授山口正己博士には多くの御助言と御校閲の労を賜った。厚く御礼申し上げる。

本研究の遂行から取りまとめに至るまで御指導と御鞭撻を賜った福岡県農業総合試験場副場長濱地勇次博士に深く感謝の意を表す。また，本論文の作成について適切な御助言，懇切丁寧な御校閲，温情ある激励を賜った前福岡県農業総合試験場豊前分場長山本富三博士，福岡県農業総合試験場農産部長尾形武文博士，福岡県農業総合試験場果樹部長栗村光男博士に深く感謝の意を表す。

また，本研究の遂行に際し，多くの助言と協力を頂いた福岡県農業総合試験場筑後分場小田原孝浩博士，福岡県農業総合試験場野菜部柴戸靖志氏に心から感謝の意を表す。

本研究の遂行にあたって，特に作物管理，調査，分析資料調整等に尽力頂いた福岡県農業総合試験場豊前分場主任技能員竹本孝博氏，中山芳之氏，同技能員松本博文氏，松下晃氏，元臨時職員芳川サヨ子氏，有門千代子氏，村上十三子氏，臨時職員真木野敏美氏，七楽加佳子氏，西野節子氏に感謝の意を申し上げます。

引用文献

- 1) Albregts, E. E. and C. M. Howard. 1978. Elemental Composition of fresh strawberry fruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103: 293-296.
- 2) Barker, A. V. , N. H. Peck and G. E. MacDonald. 1971. Nitrate accumulation in vegetables. I. Spinach grown in upland soils. Agron. J. 63: 126-129.
- 3) 陳 文孝・上本俊平. 1976. そ菜のカルシウム吸収に関する研究. (第1報)そ菜の異なった生長相におけるカルシウム吸収とその生理的意義. 園学雑. 45: 33-42.
- 4) Clarkson, D. T. and S. B. Hanson. 1980. The mineral nutrition of higher plants. Annu. Rev. Plant Physiol. 31: 268-298.
- 5) Collier, G. F. and T. W. Tibbits. 1984. Effects of relative humidity and root temperature on calcium concentration and tipburn development in lettuce. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109: 128-131.
- 6) 出口正夫・太田安定. 1959. カルシウムの生理作用に関する研究. (第2報) N供給量および形態の差異がCaの葉位別分布に及ぼす影響. 土肥誌. 30: 189-192.
- 7) Demchak, K. T. and C. B. Smith. 1990. Yield responses and nutrient uptake of broccoricas affected by lime type and fertilizer. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115: 737-740.
- 8) Forshey, G. G. , D. C. Elfving and R. L. Stebbins. 1992. Training and pruning apple and pear trees. Amer. Soc. Hort. Sci. Alexandria. Virginia. P. 62.
- 9) Gorsline, A. W. , J. L. Ragland and W. I. Thomas. 1961. Evidence for inheritance of differential accumulation of calcium, magnesium, and potassium by maize. Crop Sci. 1: 155-156.
- 10) 原登志子. 1951. Calciumの利用に関する実験的研究—特に骨粉の利用について. 栄養学雑誌. 9: 1-6.
- 11) 速水 決. 1940. カルシウム代謝をめぐる諸問題. 栄養学雑誌. 22: 1-23.
- 12) 林 宏一・押野栄司・杉田直道. 1994. 地域住民のミネラル摂取量把握方法についての検討. 栄養学雑誌. 52: 131-137.
- 13) 林田達也・柴戸靖志・尾形武文・浜地勇次. 2003. 収穫時期および生育温度によるツケナの化学形態別カルシウム含量の変動. 園学雑. 72: 169-174.
- 14) 林田達也・柴戸靖志・浜地勇次. 2010. ハクサイおよびキャベツの結球葉, 外葉における化学形態別カルシウム含量. 園学研. 9: 197-201.
- 15) Heaney, R. P. , C. M. Weaver and R. R. Recker. 1988. Calcium absorbability from spinach. Amer. J. Clin. Nutr. 47: 707-709.
- 16) Himelrick, D. G. 1981. Determination of total and ionic calcium in apple leaf and fruit tissues. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106: 619-621.
- 17) 平田 熙・佐々木泰子. 1981. 無機イオン吸収・移行に及ぼす環境要因の影響. p. 51-53. 水とイオン. 朝倉書店. 東京.
- 18) 堀江秀樹. 2009. キャピラリー電気泳動法による野菜の主要呈味成分の分析. 分析化学. 58: 1063-1066.
- 19) 細井孝之・折茂 肇. 1990. 骨粗鬆症の予防法. 産婦人科治療. 61: 796-799

- 20) 池田元輝. 1986. 無機窒素の吸収・同化と植物. 植物生産性の生理化学. 博友社. 73-106.
- 21) 稲永醸二・分部智恵・西原典則. 1983. 落花生種子のカルシウム結合形態に及ぼすカルシウム供給期間の影響. 土肥誌. 54: 288-292.
- 22) Johnson, J. R. 1991a. Calcium accumulation, calcium distribution and biomass partitioning in collards. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116: 991-994.
- 23) Johnson, J. R. 1991b. Calcium nutrition and cultivar influence incidence of tipburn of collard. Hortsci. 26: 544-546.
- 24) Jones, R. G. W. and O. R. Lunt. 1967. The function of calcium in plants. Bot. Rev. 33: 407-426.
- 25) 加田恒夫. 1980. 自然因子による変異原の抑制. 遺伝. 34: 49-54.
- 26) 香川芳子. 2005. 五訂増補食品成分表 2006. p. 72-109. 女子栄養大学出版部. 東京.
- 27) 亀野 貞・木下隆雄・楠原 操・野口正樹. 1990. ホウレンソウの栽培条件及び品種と品質関連成分の変動. 中国農研報. 6: 157-178.
- 28) 甘味資源振興会. 1995. さとうきび産品品質取引等総合調査検討事業報告書. P. 4-17. 農林水産省. 東京.
- 29) Kempster, E. , H. Breiter, R. Mills, B. Mckey, M. Bernds and J. Outhouse. 1940. The utilization of the calcium of dicalcium phosphate by children. J. Nutr. 20: 279-287.
- 30) 小西茂毅・葛西善三郎. 1963a. タバコ葉の Ageing にともなうカルシウムの代謝. (その 1) 生育各期に吸収された ^{45}Ca の形態変化. 土肥誌. 34: 67-70.
- 31) 小西茂毅・葛西善三郎. 1963b. タバコ葉の Ageing にともなうカルシウムの代謝. (その 2) 生育初期および開花期に吸収された ^{45}Ca の生育にともなう形態変化. 土肥誌. 34: 71-74.
- 32) 小清水弘一. 1991. 発癌プロモーションを抑制する食品成分. 化学と生物. 29: 598-603.
- 33) 厚生労働省健康局総務課生活習慣病対策室. 2010. 平成 21 年度国民健康・栄養調査結果の概要について. p. 17-27. 厚生労働省. 東京.
- 34) Maynard, D. N. , A. V. Barker, P. L. Minotti and N. H. Peck. 1976. Nitrate accumulation in vegetables. Adv. Agron. 28: 71-118.
- 35) Maynard, D. N. , B. Gersten and H. F. Vernell. 1964. The distribution of calcium as related to internal tipburn, variety and calcium nutrition in cabbage. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 86: 392-396.
- 36) Minamide, R. T. and L. C. Ho 1993. Deposition of calcium compounds in tomato fruit in relation to calcium transport. J. Hort. Sci. 68: 755-762.
- 37) 南出隆久・後藤昌弘・岩田 隆. 1986. 青果物におけるカルシウム (Ca) の存在形態の相違と収穫後の変化. 園学雑. 54: 507-513.
- 38) 南出隆久・上田悦範・岩田 隆. 1987. トマト果実の成熟に伴うカルシウムの存在形態の変化. 園学雑. 56: 39-44.
- 39) Misaghi, I. J. and C. A. Matyac. 1981. Soil and foliar application of calcium chloride and calcium nitrate to control tipburn of head lettuce. Plant. Disease. 65: 821-822.
- 40) 三井進午. 1970. 最新土壌・肥料植物栄養事典. p. 200. 博友社. 東京.
- 41) 並木隆和. 1986. ストレス耐性, 品質と作物栄養. p. 115-119. 農業技術体系. 土壌施肥編 2. 農山漁村文化協会. 東京.

- 42) 農林水産省果樹試験場. 1995. 果実品質の評価基準と栽培技術上の問題. p. 1-32. 農林水産省. 東京.
- 43) 小田原孝治・矢野雅彦・尾形武文. 1990. ナバナの安定栽培技術 (第1報) 播種時期, 栽植密度及び施肥法と収量. 福岡農総試研報. 11: 27-30.
- 44) 小田原孝治・矢野雅彦・松江勇次. 1991. ナバナの安定栽培技術 (第2報) 側枝の生育に及ぼす気温ならびに摘心, 摘葉処理の影響. 福岡農総試研報. 11: 35-38.
- 45) 小田原孝治・和田信一郎・比良松道一・松江勇次. 1994. 石灰質肥料の施用が土壌溶液イオン濃度とナバナのカルシウム含有率に及ぼす影響. 65: 441-445.
- 46) 奥 恒行. 1995. 食事栄養成分の消化吸収への影響. p. 113-119. 印南 敏・桐山修八編著. 食物繊維. 第一出版. 東京.
- 47) 太田安定・山本和子・出口正夫. 1970a. カルシウム供給量, 葉位, 個体の生育段階の違いが水稻生葉内のカルシウムの化学形態別分布におよぼす影響. 各種植物体内カルシウムの化学形態別分布 (第1報). 土肥誌. 41: 19-26.
- 48) 太田安定・山本和子・出口正夫. 1970b. カルシウム要求度を異にする各種作物の生葉内カルシウムの化学形態別分布. 各種植物体内カルシウムの化学形態別分布 (第2報). 土肥誌. 41: 167-172.
- 49) 太田安定・金丸日支男・出口正夫. 1971a. 水稻葉身細胞内のカルシウム分布とカルシウム供給量の関係. 各種植物体内カルシウムの細胞内分布 (第1報). 土肥誌. 42: 200-206.
- 50) 太田安定・金丸日支男・出口正夫. 1971b. 水稻葉身の老化にともなう細胞内カルシウム分布の推移. 各種植物体内カルシウムの細胞内分布 (第2報). 土肥誌. 42: 227-232.
- 51) 太田安定・鈴木純夫・橘 泰憲. 1975. 各種植物体内カルシウムの化学形態別分布 (第3報) 根・茎内カルシウムの化学形態別分布. 土肥誌. 46: 223-228.
- 52) Palzkill, D. A., T. W. Tibbits and P. H. Williams. 1976. Enhancement of calcium transport to inner leaves of cabbage for prevention of tipburn. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 101: 645-648.
- 53) Palzkill, D. A. and T. W. Tibbits. 1977. Evidence that root pressure flow is required for calcium transport to head leaves of cabbage. Plant. Physiol. 60: 854-856.
- 54) Patton, M. B. 1955. Further experiments on the utilization of calcium from salts by college women. J. Nutr. 55: 519-526.
- 55) Patton, M. B. and T. S. Sutton. 1952. The utilization of calcium from lactate, gluconate, sulfate, and carbonate salts by young college women. J. Nutr. 48: 443-452.
- 56) Raven, J. A. 1985. pH regulation in plants. Sci. Prog. Oxf, 69: 495-509.
- 57) 佐竹義継. 1982. 無機質. p. 115-116. 生化学要説. 永原学園出版部.
- 58) 佐藤 卓・森田健太郎・池田英男・古川 一・飯村裕史・小湊正幸. 2004. 摘葉処理がトマトの尻腐れ発生に及ぼす影響. 園学研. 3: 183-186.
- 59) 白木正孝. 1989. 骨疾患. 臨床栄養. 74: 640-650.
- 60) 白木まさ子・深谷奈穂美. 1988. カルシウムと鉄の所要量充足率別にみた食物摂取パターンについて. 栄養学雑誌. 46: 85-94.
- 61) 関 千代子・加藤栄子・岩瀬靖彦・君羅 満・富岡 孝・赤羽正之. 1991. カルシウム及び鉄摂取と食生活状況に関する考察. 栄養学雑誌. 49: 17-24.

- 62) 関 稔. 1995. 被覆肥料による全量元肥方式－露地野菜. p. 92 の 24-92 の 32. 農業技術体系土壌施肥編 6. 農山村文化協会. 東京.
- 63) 関谷敬三. 1994. 農産物の機能性測定に関する諸問題. 各農産物の評価を中心に. 農業および園芸. 69: 1049-1056.
- 64) 志賀敏夫. 1971. III品種の特性. p. 49-57. 現代農業技術双書ナタネ. 家の光協会.
- 65) 相馬 暁. 1985. 野菜の肥料特性と施肥. p. 69-77. 農業技術体系土壌施肥編 6. 農山漁村文化協会. 東京.
- 66) 鈴木則夫. 2002. 調査・分析の手法. RQフレックス. p262 の 6-262 の 13. 農業技術体系土壌施肥編 4. 農山村文化協会. 東京.
- 67) 橘 泰憲. 1982. 各種植物のカルシウム吸収・移行特性. p5-33. 田中 明編著. 植物と金属. 博友社. 東京.
- 68) 高辻豊二・青葉幸二. 1984. ナシの生理障害に関する研究 (第 5 報) 新梢管理と袋掛けが硬化障害発生に及ぼす影響. 園学雑 64 (別 1) : 118-119.
- 69) 田村之輔・高尾百合子・早川徳子・森本喜代・鈴木春夫. 1954. 野菜カルシウムの吸収について. 栄養学雑誌. 12: 149-152.
- 70) 田中達也・嶋田永生・佐藤 直. 1996. 異なる施肥窒素レベルにおけるキャベツ品種の収量および窒素吸収特性に関する品種間差異. 土肥誌. 67: 49-53.
- 71) 建部雅子・米山忠克. 1995a. 作物栄養診断のための小型反射式光度計システムによる硝酸および還元型アスコルビン酸の簡易測定法. 土肥誌. 66: 155-158.
- 72) 建部雅子・石原俊幸・松野宏治・藤本順子・米山忠克. 1995b. 窒素施用がハウレンソウとコマツナの生育と糖, アスコルビン酸, 硝酸, シュウ酸含有率に与える影響. 土肥誌. 66: 238-246.
- 73) 寺林 敏・宮負要一・高島俊郎・並木隆和. 1988. 水耕トマトの尻腐れ果発生と果実内カルシウム含量との関係. 京都府大学術報告. 40. 8-14.
- 74) Tisdall, F. F. and T. G. H. Drake. 1938. The utilization of calcium. J. Nutr. 16: 613-629.
- 75) 上田成子・桑原祥浩・平井信子・佐々木弘子・菅原龍幸. 1991. 野菜及びキノコ類の抗変異原性について. 日食工誌. 38: 507-514.
- 76) 宇井 睦・高野泰吉. 1995a. 果実肥大期における温度と培養液濃度が水耕トマトの尻ぐされ発生に及ぼす影響. 生物環境調節. 33: 7-14.
- 77) 宇井 睦・高野泰吉. 1995b. 果実肥大期におけるガク片除去と果房送風, 袋かけが水耕トマトの尻ぐされ発生に及ぼす影響. 生物環境調節. 33: 15-21.
- 78) 宇井 睦・高野泰吉. 1995c. 気温, 送風, ウニコナゾール散布がトマトの尻ぐされ発生に及ぼす影響. 生物環境調節. 33: 49-57

Effects of Cultivation Methods on the Concentration of Calcium
in Different Chemical Forms in Tsukena (*Brassica napus*)

Tatsuya Hayashida

Summary

Calcium (Ca) is an essential nutrient for humans, and its utilization rate in human body is influenced by its chemical forms. Among vegetables, Brassicaceae vegetables such as Tsukena are important sources of Ca because they are rich sources of this nutrient. Many studies have been conducted to identify the roles of Ca in plants, such as its physiological roles during the vegetative and reproductive stages of Chinese cabbage and the effects of water-soluble Ca on nitrogen metabolism in Tsukena (*Brassica* spp.), i.e., a group of non-heading Brassicaceae vegetables. However, no studies have been conducted to identify cultivation methods that increase the Ca concentration in plants, focusing on the chemical form of Ca.

In Fukuoka Prefecture, the lateral shoots of Tsukena (*Brassica napus*) are commonly harvested several times during the cultivation period, and are sold as leafy vegetables (i.e., Nabana). In some areas of the prefecture, the leaves are also harvested as an ingredient for juice production. To develop cultivation methods for the production of Tsukena (*Brassica napus*) with high levels of water-soluble Ca, the concentrations of Ca in different chemical forms were examined in different plant parts of Tsukena grown under different cultivation methods including harvest type, harvest season, nitrogen application level and the degree of leaf defoliation.

1. Comparison of Ca Concentrations in Different Chemical Forms between Tsukena and other Leafy Vegetables

Different chemical forms of Ca, i.e., water-soluble, salt-soluble, acetic-acid-soluble and HCl-soluble forms, were analyzed in Tsukena and other leafy vegetables. Ca concentrations were expressed on a fresh weight basis. Water-soluble Ca (e.g., Ca of organic and inorganic salts), and acetic-acid-soluble Ca (e.g., Ca of phosphates) are easily absorbed by humans. On the other hand, salt-soluble Ca (e.g., Ca pectate) and HCl-soluble Ca (e.g., calcium oxalate) are poorly absorbed by human intestines. Tsukena, spinach, lettuce and cabbage were sown between late August and mid-October and were harvested according to their commercial standards. Of the two types of Tsukena, 'Komatsuna' was grown to harvest leaves, whereas 'Keichikuzairai' was grown to harvest lateral shoots. The concentrations of total Ca, water-soluble Ca and salt-soluble Ca were the highest in 'Komatsuna' Tsukena, followed by 'Keichikuzairai' Tsukena. Acetic-acid-soluble Ca concentrations were low in all leafy vegetables with no significant differences between the two types of Tsukena and other leafy vegetables. Thus, Tsukena had higher concentrations of

total Ca and water-soluble Ca than other leafy vegetables.

2. Effects of Harvest Types on the Concentration of Ca in Different Chemical Forms

In Fukuoka Prefecture, Tsukena is usually cultivated for harvesting lateral shoots, but sometimes leaves are harvested for juice production. We harvested both lateral shoots and leaves of 'Keichikuzairai' and measured the concentration of Ca in different chemical forms in these samples. Sowing, transplanting and harvesting were carried out in mid-September, mid-October and three times between mid-January and mid-February, respectively. The concentrations of total and water-soluble Ca in the lateral shoots were similar to those in leaves in the late-January and mid-February harvests, but total and water-soluble Ca concentrations were lower in lateral shoots than in leaves in the mid-January harvest. The water-soluble Ca concentration in leaves was 1.5 times as high as that in lateral shoots. Among the three harvests, the water-soluble Ca concentration was the highest for the mid-January harvest. Therefore, we recommend that cultivation methods be adopted that are suitable for producing high levels of water-soluble Ca in 'Keichikuzairai' Tsukena leaves rather than lateral shoots.

3. Effects of Harvest Season and Nitrogen Level on the Concentration of Ca in Different Chemical Forms in Tsukena Leaf

We examined the effects of harvest season and nitrogen level on the water-soluble Ca concentration in Tsukena leaves. We sowed seeds of Tsukena cultivars 'Keichikuzairai' and 'Miyachina' in mid-September in a rain-proof facility and transplanted seedlings to a field in mid-October. The leaves were harvested every month between November and March. Leaf weights of both 'Keichikuzairai' and 'Miyachina' were the heaviest in December. The leaf weight of 'Keichikuzairai' was reduced by half from December to March and that of 'Miyachina' continued to decrease until February and then increased in March. In both cultivars, total and water-soluble Ca concentrations were the highest in November and the second highest in December. Compared with November, the water-soluble Ca concentration decreased by 30% in 'Keichikuzairai' and 40% in 'Miyachina' in December. The total and water-soluble Ca concentrations were higher in 'Keichikuzairai' than in 'Miyachina' at all times. Therefore, the leaves should be harvested in December, earlier than the common harvest time (January or February), to produce 'Keichikuzairai' with a high Ca concentration without a reduction in yield.

It seems likely that the fluctuations in the total and water-soluble Ca concentrations from harvest to harvest can be explained at least partially by the difference in growing temperature. We therefore attempted to determine the relationship between temperature and the concentration of Ca in different chemical forms.

'Keichikuzairai' and 'Miyachina' seeds were sown in pots in early September in a rain-proof facility. Seedlings were grown outdoor for 20 days and in a phytotron (17°C) for 25 days, and then grown for 22 days in phytotrons (7°C, 17°C or 27°C) with 12-hour photoperiods. In both cultivars, leaf weights were the

highest at 17°C. The total and water-soluble Ca concentrations were also the highest at 17°C. When the two cultivars were compared, total and water-soluble Ca concentrations were higher in 'Keichikuzairai' at 17°C. In Tsukena, it appears that the absorption and transport of Ca from roots to leaves as promoted more than leaf growth, resulting in an increase in total and water-soluble Ca concentrations. Since Ca is absorbed by plants as a counterion of nitric acid, it is possible that the nitrogen level influenced the total and water-soluble Ca concentrations. In order to examine this possibility, 'Keichikuzairai' was grown with different amounts of N (12.5, 25.0, 37.5 or 50.0 kg per 10 a) in fields starting in late September. At harvest in mid-December, leaf weight was higher in the 25.0 kg to 50.0 kg plots, whereas the total and water-soluble Ca concentrations were the highest in the 25.0 and 37.5 kg plots. At harvest in mid-January, leaf weight was the highest in the 37.5 and 50.0 kg plots, with an increase by 40% compared with the 25.0 kg plot. The total and water-soluble Ca concentrations were the highest in the 25.0 kg to 50.0 kg plots. Comparing the harvest season, the water-soluble Ca concentration was the highest in mid-December regardless of nitrogen level of the plots. By cultivating Tsukena for leaves with 25.0 kg N per 10 a and harvesting in mid-December, high yields of Tsukena with high total and water-soluble Ca contents can be produced without contaminating the environment with excess N. When the temperature drops lower than 17°C, tunnel covering is recommended to increase the total and water-soluble Ca concentrations.

4. Effects of Cultivar and Defoliation on the Concentration of Ca in Different Chemical Forms in Tsukena Lateral Shoots

Although the total and water-soluble Ca concentrations are higher in leaves than lateral shoots, Tsukena is commonly cultivated for harvesting lateral shoots in Fukuoka Prefecture. Thus, the effects of cultivar and defoliation on the Ca concentrations in lateral shoots were compared among four cultivars: 'Keichikuzairai', 'Miyachina', 'Sinkirina' and 'Gogatsuna'. Sowing, transplanting and harvesting were carried out in early September, late September, the period between November and March, respectively. Total yields between November and March were not different among 'Keichikuzairai', 'Miyachina' and 'Gogatsuna', whereas the total yield of 'Sinkirina' was lower than that of the other three cultivars. Total and water-soluble Ca concentrations were higher in 'Keichikuzairai' than in 'Miyachina' and 'Gogatsuna' irrespective of harvest period. Additionally, total and water-soluble Ca concentrations for 'Sinkirina' were nearly identical to those of 'Keichikuzairai' between December and February. Judging from the yield and total and water-soluble Ca concentrations, 'Keichikuzairai' is the recommended cultivar to grow for harvest of lateral shoots.

When cultivating Tsukena for lateral shoot production, the apical region of the main stem is usually pinched and several leaves in the pinched region are defoliated to increase the amount of incident light on the crop. Defoliation increases the Ca concentration in fruits in some fruit trees and tomatoes. Therefore, the effects of defoliation on growth and Ca concentration were examined in the Tsukena cultivar,

'Keichikuzairai'. Sowing, transplanting and pinching/defoliating were carried out in mid-September, mid-October and early November, respectively. The pinching/defoliating treatments were; Three Leaves Defoliation (the three uppermost leaves were removed), Six Leaves Defoliation (the six uppermost leaves were removed) and the Control (the plants were not defoliated). Harvest was carried out from November to February. Defoliation did not affect yields between November and December, whereas yields between January and February were decreased by defoliation. The total yield of leaves for the Three and Six Leaves Defoliation decreased by 9% and 16%, respectively. However, fresh mass per lateral shoot—an important characteristic of quality—was the highest for Six Leaves Defoliation treatment. The total and water-soluble Ca concentrations were not influenced by the number of defoliated leaves in January and February, but values were higher in November and December as the number of defoliated leaves increased. The total Ca concentration was 1.5 – 2.1 times and 1.3 – 1.4 times higher and the water-soluble Ca concentration was 1.9 – 2.5 times and 1.5 – 1.6 times higher in the Six and Three Leaves Defoliation treatments, respectively. In the Six Leaves Defoliation treatment, the water-soluble Ca concentration was the lowest for the January harvest. Therefore, in the cultivation of 'Keichikuzairai' for lateral-shoot production, defoliation of six leaves at the time of pinching could increase the water-soluble Ca concentration in the lateral shoots in early harvest season.

This study showed that Tsukena had higher total and water-soluble Ca concentrations compared with other leafy vegetables. Water-soluble Ca is highly usable in the human body, so Tsukena is a promising source of dietary Ca. In order to increase the water-soluble Ca concentrations in 'Keichikuzairai' leaves for juice production, applying nitrogen at 25.0 kg per 10 a and harvesting the leaves in mid-December is recommended. When 'Keichikuzairai' is grown for harvesting its lateral shoots, defoliation of six leaves when the plants are pinched could increase the Ca concentration in lateral shoots. The results of the national nutrition survey by the Ministry of Health, Labour and Welfare showed that Japanese people are chronically deficient in Ca. Our results contribute a solution to this problem and also help to increase the commercial values to Tsukena as functional vegetables, resulting in the revitalization of Tsukena producing areas.

福岡県農業総合試験場特別報告
第33号

ツケナ (*Brassica napus*) の化学形態別カルシウム濃度に及ぼす栽培方法の影響

発行 平成24年 3月

福岡県農業総合試験場
〒818-8549 福岡県筑紫野市吉木 587
TEL 092-924-2971

著書 林田達也

印刷所 株式会社 星光社
〒812-0042 福岡県博多区豊1丁目5-26
TEL 092-475-7711