

# 第 I 章 緒 論

## I-1. 研究動向の概要

国内における農業総産出額 8.29 兆円のうち、野菜の産出額は 2.06 兆円、割合にして 25.2% (2006 年概算値) と重要な位置を占めている (表 I-1) (農林水産省, 2008)。また、近年の野菜の産出額は 2 兆円台を維持して堅調な推移を見せている。とりわけ、2004 年以降は米の産出額を上回り、農業総産出額に及ぼす野菜生産の重要性が年々高まっている。一方、野菜の生産量で見ると、1980 年代以降、安価な外国産野菜の輸入量が増加し、国内の野菜生産量は漸減傾向にあり (図 I-1)、今後もこの傾向が継続することが懸念される (農林水産省, 2009b)。

ジャガイモ (*Solanum tuberosum* L.) は、2007 年度における生産量が約 287 万 t と全野菜品目中第 1 位の実績となっている (表 I-2) (農林水産省, 2009a)。北

海道における 2006 年度の実績は 202 万 t で、同年の国内シェアは 76.7% に達する (北海道農政事務所, 2008)。また、北海道における用途別の作付面積割合は、生食用 39.2%、デンプン原料用 34.5%、加工用 23.4%、その他 2.9% となっている (北海道農政部, 2008a)。このうち、生食用の品種は 5 品種で、構成割合 (作付面積) は「男爵薯」(56.3%)、「メークイン」(27.3%)、「キタアカリ」(7.9%)、「とうや」(5.4%)、「ワセシロ」(3.1%) となっている (北海道農政部, 2008b)。生食用に限定した場合でも、年間 1 人当たりの購入数量は 4.3kg であり、ダイコン、キャベツ、タマネギについて、全品目中 4 位になっている (北海道青果物価格安定基金協会, 2001)。生食および調理加工適性に優れた品種が数多く育成され、その用途別に品種選定の基準が整理されている (梅村・小原, 1997)。

表 I-1 国内農業産出額の項目別推移

	平成15年 2003年	平成16年 2004年	平成17年 2005年	平成18年 2006年	平成19年 2007年
農業総産出額合計	88,565	87,136	85,119	83,322	81,927
うち 耕種計	64,602	61,832	59,396	58,179	56,536
うち 米	23,416	19,910	19,469	18,147	17,903
麦類	1,506	1,488	1,537	1,454	878
豆類	1,011	928	768	730	582
いも類	2,051	1,981	2,016	2,027	1,781
野菜	20,970	21,427	20,327	20,508	20,489
果実	7,141	7,627	7,274	7,727	7,505
花き	4,256	4,156	4,043	3,991	3,969
工芸農作物	3,260	3,378	3,027	2,673	2,532
うち 畜産計	23,289	24,580	25,057	24,525	24,773
うち 肉用牛	4,001	4,455	4,730	4,781	4,808
生乳	6,942	6,875	6,759	6,486	6,350
豚	4,671	5,186	4,987	4,980	5,233
鶏	6,015	6,354	6,889	6,583	6,773

単位：億円

「生産農業所得統計 年次別農業総産出額及び生産農業所得」(農林水産省, 2008)より作成

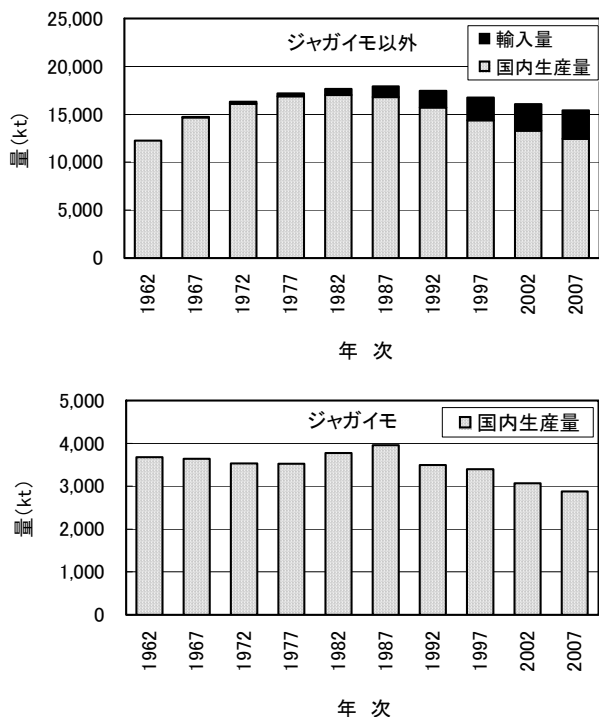


図 I-1 野菜の国内生産量および輸入量の推移

「食料需給表 年度別需給表 平成19年度概算値」(農林水産省, 2009b)の値より作成

生食用(一般調理用)ジャガイモの品質評価項目において、デンプン価(含量)は食味や加工適性を左右する最も重要な指標の一つであり、それにより水煮後の硬さ、肉質および煮くずれ等の特性に影響を及ぼす(佐藤ら, 1991: 古館・目黒, 1997: 小原ら, 1997: Matsuura-Endoら, 2002a, 2002b)。すなわち、デンプン価が低い塊茎では「硬い」、「粘質」、「煮え難い」および「粉をふかない」等の特性が発現し、他方デンプン価が高い塊茎では「軟らかい」、「粉質」および「煮くずれやすい」等の特性が発現する。古館・目黒(1997)は、煮熟したジャガイモの硬さについて、官能評価と整合性の高い、物性測定機器(テンシプレッサー)による客観的測定法を開発した。遠藤ら(1998, 1999)はジャガイモの煮くずれ要因として、細胞内のデンプン膨潤に伴う細胞の球形化により細胞が分離するとともに、塊茎中のデンプン分布、細胞の大きさ、ペクチン含量などが影響すると報告している。水煮以外に、調理法毎にデンプン価と食味の関係を検討した事例はきわめて少ないが、中野ら(2002)はレトルト加工時の特異な例として、デンプン価とその加工品の硬さの間に正の相関があることを示した。また、ジャガイモの硬さがデンプン価によって大き

表 I-2 野菜の品目別の作付面積および収穫量  
(平成19年産)

品目	作付面積 (ha)	収穫量 (t)	収穫量による順位
じゃがいも	87,400	2,873,000	1
だいこん	37,200	1,626,000	2
キャベツ	32,700	1,359,000	3
たまねぎ	24,300	1,265,000	4
はくさい	18,700	917,500	5
トマト	12,700	749,200	6
にんじん	19,100	665,900	7
きゅうり	12,800	641,000	8
レタス	20,900	543,700	9
ねぎ	22,500	494,800	10
すいか	12,600	421,600	11
なす	10,800	371,800	12
ほうれんそう	22,900	298,200	13
スイートコーン	25,600	256,700	14
かぼちゃ	17,200	228,000	15
メロン	9,530	221,300	16
いちご	6,580	191,400	17
やまのいも	8,250	190,400	18
さといも	14,100	173,200	19
ごぼう	8,800	163,100	20
かぶ	5,360	159,300	21
ピーマン	3,500	149,600	22
ブロッコリー	11,900	125,000	23
こまつな	5,730	92,700	24
えだまめ	12,800	71,300	25
にら	2,160	63,900	26
レンコン	4,060	58,200	27
ちんげんさい	2,350	48,900	28
さやいんげん	7,040	48,900	29
しょうが	1,870	42,700	30
しゅんぎく	2,440	40,300	31
セルリー	669	35,300	32
アスパラガス	6,530	31,100	33
さやえんどう	4,380	27,500	34
カリフラワー	1,410	25,400	35
そらまめ	2,520	21,500	36
にんにく	2,030	19,200	37
みつば	1,210	17,800	38
ふき	741	16,200	39

39品目(指定野菜14品目および指定野菜に準ずる野菜のうちかんしょ、生しいたけおよびグリーンピースを除いた25品目)

「野菜生産出荷統計 平成19年産野菜作付面積、収穫量及び出荷量」(農林水産省, 2009a)より作成

く変化する要因の一つに、ペクチンの性状が加熱により変化、すなわち水溶性ペクチンの割合が増加するためであることが示された(佐藤・高野, 2000)。ジャガイモには多くの調理加工法が存在し、それぞれに適正なデンプン価があると思われるが、これについて整理された報告は見当たらない。

塊茎のデンプン価は、デンプンの比重が大きいことを

利用して、塊茎を水中で比重測定することによって算出可能であり(永田, 1956; 浅間, 1972), その方法は新品種育成, 栽培技術開発および食品加工等の分野で広く利用されてきた。デンプン価は, 同一品種であっても産地での気象や栽培条件により変動することが知られている(岡, 1969; 岡, 1977; 谷口, 1990)。このため, デンプン価の極端な高低が原因となって, しばしば実需者および消費者からのクレームを生ずるケースがある。また, 食品加工メーカーからは製品品質の安定化のため, 安定したデンプン価のジャガイモが求められている(梅村, 1999)。これらの問題に対して, 適切な栽培管理等による対策が講じられ, デンプン価向上の成果が得られてきた(岡, 1969; 岡, 1977; 谷口, 1990)。しかしながら, ジャガイモの生育特性上, 塊茎個々のデンプン価のばらつきを皆無にすることは困難であることから, 一定のデンプン価の塊茎を揃えるためには, デンプン価計測・選別機器の開発・導入が必要となる。

塊茎個々のデンプン価の計測に当たっては, 選果ライン上で迅速かつ連続的に行われる必要がある。これには, 果実等で実用化が進んでいる光学的手法による非破壊品質評価法を活用することが有効と考えられる。Watadaら(1976)は, 可視波長域の吸光分析法によりトマトのクロロフィルおよびカロテノイド含量の計測法を開発した。多品目での応用が進んでいる近赤外分光法では, 800-2500nmの近赤外波長領域の吸光度を元に, 農産物の各種成分および熟度などを非破壊で計測する方法が開発されている。すなわち, 果実では, モモ(Kawanoら, 1992), ウンシュウミカン(Kawanoら, 1993; Miyamotoら, 1995)およびリンゴ(伊豫・河野, 2001; Lammertyn, 1998)果実中の糖度の非破壊測定法が検討されてきた。また, 野菜では, タマネギの乾物率と糖度(Birthら, 2005), 小玉スイカの糖度(Itoら, 2002), メロンの糖度(Dullら, 1989, 1992; 中蔦ら, 1995; Itoら, 2001), イチゴの糖度(Ito, 2002)および糖組成(西沢, 2009)について検討されている。デンプンに関しては, コメ(稲津, 1988; 恩田ら, 1994), コムギ(Nzabonimpa and Nicod, 1999)およびトウモロコシ(Bertrand and Scotter, 1992; Nzabonimpa and Nicod, 1999)において, その糊化度を近赤外分光法により評価する手法が報告されている。ジャガイモの比重(デンプン価)についても, 実験室レベルでの近赤外分光法による測定方法が示されたが(Chen, 2005), 実用レベルで連続的に測定する方法は未確立である。

ダイコン(*Raphanus sativus* L.)は, 2007年度における生産量が約163万tと全野菜品目中第2位の実産量と

なっている(表I-1)(農林水産省, 2009a)。ダイコンの品質評価項目において, テクスチャーは食味や調理加工適性を左右する重要な指標であり, サラダ等の生食用のみならず塩漬け・煮熟後の硬さおよび煮くずれ等の特性に影響を及ぼす。田村(1995)は, 野菜の食味要素のうち, テクスチャーは極めて重要な項目であると指摘している。また, 野菜の食味評価上, 物理性を中心とした機器による客観的評価法の必要性が指摘されている(堀江, 2006)。テクスチャー研究の効率的な推進には, ヒトによる官能評価に加え, 物性測定機器による客観的評価法の確立が重要である。それにより, 研究者の身体的負担軽減のみならず, 年次や作型の異なる多数の試料を同一条件下で比較でき, 評価ぶれを最小限に抑えることも可能となる。他の野菜類では, ジャガイモ(古館・目黒, 1997; 佐藤ら, 1991)およびメロン(Hiraiら, 2007)において, 物性測定機器を用いたテクスチャー評価法が検討され, 試料圧縮時の荷重値と官能評価との間に相関関係を有することが確認されている。キュウリでは, 卓上物性測定器を用いて, プランジャーが果肉に貫入するときの荷重値変化から硬さとコリコリ感を評価する方法が検討されている(堀江ら, 2004)。

ダイコンの場合, 食味総合評価に対して, 味とテクスチャーが密接に関係していることが明らかにされた(平本・松本, 1992)。同時に, テクスチュロメーターによる評価法が検討されたが, ニードル型プランジャーによる貫入抵抗の測定値からは, 生食(サラダ)における硬さ官能評価値との関係性は見出されなかった(平本・松本, 1992)。一方, ダイコンの加工用途として最も利用の多い塩漬けについて, 加工条件の異なる試料を用い, 官能によるクリスピー性とテクスチュロメーターによる測定値との相関が認められている(金子ら, 1982a)。また, クリスピー性とペクチン組成の関係についても検討されている(金子ら, 1982b, 1983)。これらの報告はいずれも加工法の違いを評価するためのものであり, 品種間の差異を評価するための検討は見当たらない。また, その塩漬け加工は長期間(1か月以上)にわたるものであり, 近年, サラダ感覚での利用が多い浅漬け条件での報告は見当たらない。

ダイコンの主要な調理加工法である煮熟条件でのテクスチャー変化とそのメカニズムについても報告がある。すなわち, ダイコンの煮熟後の硬さは, 塩酸可溶性ペクチンの割合が多いほど軟化しやすく, 酢酸塩緩衝液可溶性ペクチン+ヘキサメタリン酸可溶性ペクチンの割合が多いほど軟化しにくい(Fuchigami, 1987)。また, 煮熟後の硬さにいくつかの塩類およびpH(Fuchigamiら,

1993a, 1993b : Tamura ら, 1993), 収穫時期および部位の違い (Fuchigami, 1988) が影響を及ぼすことも報告されている。また, 野菜の煮熟による軟化は, 一般的に加熱により野菜中のペクチンがトランスエリミネーションにより分解し, 煮汁中に溶出し, 細胞間の結合力が失われることが原因であるとされる (淵上, 1983, 1986 : 岡崎ら, 1997)。

ダイコンの辛味は, 食味総合評価と負の相関関係が見いだされている (平本・松本, 1992)。ダイコンの辛味成分は, 4-メチルチオ-3-ブテニルイソチオシアネート (ITC) であり, その配糖体の 4-メチルチオ-3-ブテニルグルコシノレート (GSL) が細胞破壊により内生ミロシナーゼによって分解されることにより瞬時に生成される (石井, 1993)。ダイコンを含め, アブラナ科野菜の各種 ITC の定量法が示されている (石井, 1987a : Okano ら, 1990a, 1990b : 伊藤, 1993 : 堀, 1999)。また, 作型, 土壌中の硫酸イオン濃度およびマルチ資材の敷設等の栽培条件がダイコンの ITC 含量に及ぼす影響についても明らかにされた (石井・西條, 1987b)。

ダイコンの品質評価に際して, 最重要項目の一つは内部障害の計測および選別である。ダイコンの内部障害で最も深刻なのは, 赤心症およびパーティシリウム黒点病による維管束黒変症状であり, いずれも茎葉部や根の外観からは見分けが困難な根内部の変色を伴う障害である。これらの障害のあるダイコンが流通した場合, 販売上の大きな問題となり, 消費者および加工業者からのクレーム発生につながる。

赤心症は, 根内部の中心部が赤褐色に変色する症状を呈し, ホウ素欠乏 (林・石居, 1968 : 門野ら, 1961) および生育後半の高気温・高地温 (川城・武田, 1986 : 川合ら, 1992) が原因とされる。赤心症の対策として, ホウ素施用の効果 (西田・下野, 1989) および寒冷しゃ被覆での地温上昇抑制による効果 (川合ら, 1992) が示されている。これら栽培上の対策と, 赤心症発生の少ない品種の導入に伴い, その発生は大幅に軽減された。

ダイコンの難防除病害であるパーティシリウム黒点病は, *Verticillium dahliae* (北沢・鈴木, 1980) および *V. albo-atrum* (角野ら, 1997) の感染により発生し, 根部には維管束の黒変症状が発現する。北海道内のダイコンパーティシリウム黒点病の発生実態を 107 地点で調査した結果, 約 36% 割の圃場で本病の発生が認められている (北海道立中央農業試験場, 2000)。本病について生産現場で適用可能な防除技術が開発されてきたが (角野ら, 2001a, 2001b, 小松ら, 2001a, 2001b), 今なお各地で発生が見られる。根部に発生する黒変症状は外観で

判別することが困難なため, 現地での選果受け入れ時には各ロットから 5 ~ 15 本を抜き取り, 切断して内部検査を実施している (北海道立中央農業試験場, 2000)。しかしながら, 全量検査ではないため, 年次により本症状のあるものが選果場での検査を通過して流通される事例があり, クレームの発生につながる。

その対策として, 障害が検出できる非破壊計測装置を選果ラインに組み込み, 全量検査を行うのが有効と考えられる。青果物の外部障害を光学的手法により非破壊計測する研究は, リンゴ, ウンシュウミカンおよびナツダイダイの外傷を赤外線映像法により検出する方法 (Danno ら, 1978), 同法によるナシ, カンショおよびジャガイモの外傷の検出 (宮里ら, 1981), ウンシュウミカン表皮の損傷を紫外線照射で放射される 565nm に極大のある蛍光スペクトルから検出する方法 (魚住ら, 1987) がある。これらは, 選果場の検査員によるチェックでも選別することが可能である。

一方, 内部障害については, その症状を外観で判別することが困難であることが多い。その非破壊計測については, X 線 CT スキャナによるナシのみつ症の計測 (猪俣, 1989), 可視光透過強度によるパイナップルの熟度と内部罹病果の検出 (大森, 2003), レーザー透過光および可視分光分析法によるジャガイモの中心空洞や芯腐れなどの内部障害計測 (澤山ら, 2001), 可視・近赤外分光法によるナツダイダイのス上がり果選別 (鈴木・石田, 1979), 近赤外分光法によるメロンの水浸状果計測 (伊藤ら, 2004), 同法によるリンゴの密入り果計測 (Tsuchikawa ら, 2002) および褐変果肉果計測 (Clark ら, 2003) の報告がある。ダイコンについては, 赤心症および黒心症を透過光の RGB 分析により判別する方法 (谷本ら, 2003), および黒斑細菌症を近赤外分光法により判別する方法 (中野, 2003) が報告されている。しかしながら, いずれの報告においても, 本研究で対象とするパーティシリウム黒点病の判別については未検討である。現在, 選果施設で受け入れられたダイコンは, 水洗後コンベア上で人手および外観選別機により, 曲がり, 分岐根の有無, 表皮の傷などの外観および規格により選別されている。しかし, 内部障害については外観による判別が困難で, 上述のような非破壊計測法もないことから, ライン上での全量選別は実施されていない。

キャベツ (*Brassica oleracea var. capitata*) は, 2007 年度における生産量が約 136 万 t と全野菜品目中第 3 位の生産量となっている (表 I -1) (農林水産省, 2009a)。キャベツは淡色野菜に分類され, 栄養面からは緑黄色野菜に比べて軽視されがちである。しかしながら, キャベ

ツのアスコルビン酸（ビタミン C）含有率は新鮮物 100g あたり 41mg であり、一般的な緑黄色野菜に匹敵し、栄養摂取面から重要な野菜に位置づけられる（女子栄養大学，2007）。キャベツはビタミン C 含有率が高く、摂取量も全野菜中 2 番目に多い野菜（北海道青果物価格安定基金協会，2001）であることから、ビタミン C 摂取源としての需要度は全野菜中第 1 位と試算される。とりわけキャベツは生で摂取することが多く、全量を生で摂取した場合、キャベツのみでビタミン C の年間所要量の約 12% を供給し得る。ビタミン C は、コラーゲンの合成、肝臓におけるホモピルビン酸合成、甲状腺におけるノルエピネフリン変換および抗酸化物質として機能する（米山・建部，1992）。ビタミン C は人体では生合成されないことから、1 日の必要摂取量が 50mg に設定されている（女子栄養大学，2007）。植物では、D-グルコースを出発物質として生合成され、細胞質および葉緑体に存在し、細胞の酸化を防御していると推察されている（米山・建部，1992）。葉菜類でのビタミン C 含有率の変動要因の検討例としては、ハウレンソウ（目黒ら，1991；建部ら，1995）およびレタス（中村，1996）において、窒素施用量増加に伴い、1 個体重が増加し、ビタミン C 含有率が低下するとの報告がある。また、ハウレンソウでは夏どりのものに比べて、秋どりのものでビタミン C 含有率が高いことが認められている（目黒ら，1991）。さらに、有機質肥料により栽培したハウレンソウでは、化成肥料に比べビタミン C 含有率が高い傾向が見られた（廣田ら，2002）。キャベツでは、栽植密度を小さく疎植にすることにより、受光量が増加し、結球中のビタミン C 含有率が高まるとの報告がある（坂口ら，2002）。北海道外のキャベツ生産では、冬期収穫の方がそれ以外の収穫期よりもビタミン C 含有率は高めることが認められている（辻村ら，1997）。夏～秋どりキャベツのビタミン C 含有率の実態およびビタミン C 含有率に影響を及ぼす作型や施肥量等の要因については、未検討である。また、キャベツのビタミン C 含有率の向上を図る技術開発上の指標値の設定やビタミン C 含有率の簡易測定法についても知見が見あたらない。

メチルメチオニンスルフォニウムクロライド（ビタミン U）は、キャベツから発見された遊離アミノ酸であり、消化器官での抗潰瘍作用（Cheney，1950）および胃粘膜保護作用（岡部ら，1996；Watanabe ら，1996）を有する。そのため、総合胃腸薬には有効成分として含まれるものが多い。また、近年ビタミン U はキャベツの他、ミカン（大野ら，1996）、緑茶（Ohtsuki ら，1987）、レタ

ス（瀧川・石井，1996）にも含まれることが明らかとなってきた。キャベツの 1 人あたり年間購入量は 5.0 kg とダイコンに次いで多い野菜であることから（北海道青果物価格安定基金協会，2001）、ビタミン U などの機能性成分の向上は疾病予防・健康増進の面からも重要である。これまで、キャベツのビタミン U 含有率に関しては、部位間差や貯蔵による変化などが検討されており、貯蔵性の低い品種では貯蔵によりビタミン U 含有率が上昇することが明らかとなっている（瀧川・石井，1996；1997）。しかし、生産現場での収穫物の実態や変動要因については解析した例が見あたらない。ビタミン U は、遊離アミノ酸の一種であることから、遊離アミノ酸およびビタミン U の変動要因について関係性のあることが想定される。すなわち、キャベツでは、窒素施用量が多いほど結球中の遊離アミノ酸含有率が高まると報告されている（矢野・小濱，1983；古館・目黒，2002）。また、熟期の早い品種ほど、および収穫時期を早めるほど遊離アミノ酸含有率が高まった（矢野・小濱，1983）。さらに、茶の新芽（Okano ら，1997）およびジャガイモ塊茎（古館・目黒，2001）においても、窒素施用量が多いほど遊離アミノ酸含有率は高まることが認められている。

スイカ（*Citrullus lanatus*）は、2007 年度における生産量が約 42 万 t と全野菜品目中第 11 位の実産量となっている（表 I -1）（農林水産省，2009a）。スイカの品質評価項目としては、大きさや形といった外観に加え、糖度、食感および空洞の有無などの内部品質が重要とされる。このうち、果実糖度はスイカの主要な品質項目であり、産地の共同選果場においては、選果基準を Brix 値で 10.5 ～ 11.0% に設定して、これに満たない生産物は規格外として、個選扱いあるいは廃棄処分される。生育に伴うスイカ果実の糖度は、着果後 20 日目までに急激に高まり、その後 30 日目以降から成熟期の 50 日目まで緩やかに上昇する（森本，1996）。糖の組成は、果実肥大前半ではグルコースおよびフルクトース含有率が高く、着果後 40 日目以降はグルコースおよびフルクトース含有率が低下し、シュクロース含有率が高まる（新堀・甲田，1978）。このとき、成熟期の 50 日目にはシュクロース含有率が 43g/kg と最も高く、次いでフルクトース 33g/kg およびグルコース 10g/kg の順であった。消費者に当たりはずれのない生産物を供給するため、各スイカ産地では出荷前の品質判定を重要視している。通常、生産者から受け入れたロット毎に抜き取り検査をしているが、果実個々のバラツキが大きい場合には低品質果の混入リスクが伴うため、選果ライン上での非破壊品質評価

が求められる。これまで、スイカでは近赤外分光法による糖度計測（伊藤ら，1999），レーザーによる糖度計測（嶋村ら，1999），打音による空洞の検出（栗原，2003）についての報告がある。

選果段階での品質による選抜とともに、栽培段階での品質向上も重要である。スイカの果実収量および糖度の向上と栽培法との関係については、窒素施肥法（北海道原子力環境センター，1990），葉面積（渡邊ら，2001），着果節位（渡辺ら，2003），トンネル換気法および整枝法（平井ら，2005）に関する報告がある。また、空洞果の発生と着果節位の関係について報告がある（加納，1993）。また、近年、生産現場では有機物施用による減化学肥料栽培に関心が高まっており、有機質肥料の施用方法に関する知見が求められている。現在、野菜に対して動物質、植物質の有機質肥料の施用が行われており、その種類は多岐におよぶ。それらの有機質肥料の施用が作物生育および品質に及ぼす影響を解析するには、有機態窒素の無機化（植物への窒素の可給化）速度が重要であり、反応速度論的解析法が明らかにされている（杉原ら，1986）。森（1986）は、有機物の施用が作物の品質に及ぼす影響について、「有機物施用による緩効的な窒素吸収」が体内糖含量の増加、体内窒素（タンパク）含量の減少および保存性の向上の一要因となるメカニズムを提唱した。有機質肥料は各種類毎に窒素無機化速度が異なるため、これらを化学肥料（窒素）の代替として施用した場合、投入成分量を同一にした場合でも肥効は異なる。キャベツおよびサツマイモに対して有機質肥料を代替施用した例（貝原，1996）では、魚かすおよびナタネ油かすでは比較的良好な生育・収量を示したが、鶏ふんの肥効は劣り、単独施用する場合、施用量を多くする必要があった。スイカに関して、有機質肥料の施用が収量および品質に及ぼす影響を詳細に解析した知見は見あたらない。葉菜類では、各種有機物を供試し、その無機化速度が高いほど硝酸濃度が高く、糖含量が少なくなることが示され（山崎・六本木，1998），施用量によっては品質低下をもたらす可能性があった。スイカでは、生育初期の過剰な窒素吸収により、着果不良および果実糖度の低下を引き起こす事例が報告されている（北海道原子力環境センター，1990）。

## I-2. 本研究の背景と目的

前節では、国内における農業総産出に占める野菜の重要性（農林水産省，2008）が示される一方、安価な外国産野菜の輸入量増加により国内生産量が圧迫されている現状が指摘された（農林水産省，2009b）。こうし

た現状を改善し、国内の野菜生産の維持・向上を図るためには、生産コストの抑制はもとより、より品質の高い生産物を供給することにより消費者理解を得ることが必須となる。そのためには、野菜の「育種」および「栽培」といった生産現場での品質向上のみならず、「流通」、「調理・加工」および「消費」に至る各段階での品質評価および品質向上技術の検討が重要となる。こうした取り組みにより、高品質をキーワードとした品種、安定生産技術および流通・加工技術が開発され、総合的な高品質野菜の供給が可能となり、国内における野菜生産振興に寄与できると考えられる。

野菜は品目が多く、農林水産省では指定野菜 14 品目（野菜生産出荷安定法）、指定野菜に準ずる野菜 28 品目（野菜生産出荷安定法施行規則）の計 42 品目を主要な野菜に分類している。これら多様な野菜について品質研究を行う際には、それぞれの品目毎に重点的に評価対象とすべき項目が異なることに着目する必要がある。野菜の品質評価項目は、色や形状および障害などの「外観」、食感および味などの「嗜好性」、「栄養・機能性成分」、日持ち性などの「流通特性」、「加工適性」、「安全性」に分類される（東尾，2000）。

本研究では、野菜類の品質向上のため、栽培法、調理・加工適性に関する要因解析および評価法、非破壊評価について詳細な検討を行った。研究対象は、日本国内での主要な野菜、すなわち、根菜類のジャガイモ（287 万 t、全品目中 1 位，2007 年度）およびダイコン（163 万 t、全品目中 2 位，2007 年度）、葉菜類のキャベツ（136 万 t、全品目中 3 位，2007 年度）、果菜類のスイカ（42 万 t、全品目中 11 位，2007 年度）とした。現在、これらの品目において品質向上のために最も重要な品質項目は、ジャガイモでは「食味」、「調理・加工適性」およびそれらと密接に関連する「デンプン価」、ダイコンでは「食味」、「調理・加工適性」および「内部障害」の有無、キャベツではビタミン類などの「栄養・機能性成分」および「食味」、スイカでは「食味」と密接に関連する「糖度」と考えられることから、主にこれらの項目を中心に検討した。

第 II 章では、品質向上のための栽培法について検討した。ジャガイモおよびダイコンの栽培法と品質の関連成果は、前節で示したとおり既往の知見があり（Fuchigami，1988；林・石居，1968；石井・西條，1987b；門野ら，1961；川合ら，1992；川城・武田，1986；西田・下野，1989；岡，1969；岡，1977；谷口，1990），栽培法としても確立されている。したがって、これらの品目については、品質向上と栽培法に関する新

たな検討を行わず、キャベツとスイカの品質向上に着目して検討した。最初に、キャベツ栽培において、向上させるべき最も重要な品質項目として、栄養・機能性があげられる。すなわち、キャベツは消費量が多く、生での摂取が多いため、ビタミン類の摂取源としての寄与が大きく、とりわけ、ビタミン C およびビタミン U は、前述のとおりキャベツの栄養・機能性を特徴づけるものである。しかしながら、それらの変動要因や栽培法による向上効果については検討例が極めて少ない。そこで、それらの含有率の実態を明らかにするとともに、それらの含有率に影響を及ぼす栽培上の各種要因についても検討した。さらに、ビタミン C 含有率の向上を図る技術開発上の指標値を提案するとともに、その含有率の簡易測定法についても検討した。つぎに、スイカは、嗜好性が高い果実の野菜であり、品質項目としては食味と極めて密接に関連する果実糖度が重視される。糖度については、葉面積（渡邊ら，2001），着果節位（渡辺ら，2003），換気および整枝法（平井ら，2005）との関係が検討されているが、施肥法改善に関する報告は極めて少ない。近年、減化学肥料栽培による果実糖度などの品質向上を目的に、有機質肥料を活用した栽培に関心が高まっている。しかしながら、有機質肥料の施用とスイカ品質の関係について明確にされていない。そこで、スイカに対する各種有機質肥料の施用が品質に及ぼす影響について、特に窒素供給面から検討した。

第Ⅲ章では、調理・加工に影響を及ぼす要因の解析や客観的な品質評価法の開発について検討した。それらの知見や手法は、野菜生産場面へのフィードバックにより高品質な新品種の開発および品質向上のための栽培法確立、流通・加工場面では品質の異なるものをその用途に応じて適切に仕分けて利用することによって高品質化が図られるとともに、非破壊品質評価法による選別技術開発などへの活用が期待される。ジャガイモでは、物性とデンプン価の関係について、機器測定や外観観察による解析がなされている（佐藤ら，1991；古館・目黒，1997；小原ら，1997；Matsuura-Endo ら，2002a，2002b）。しかしながら、調理・加工法ごとの食味構成要素とデンプン価との関係について検討した報告は見当たらない。ジャガイモの利用場面に応じて、最適なデンプン価のジャガイモを供給することにより、調理・加工場面における品質向上が図られる。そこで、ジャガイモのデンプン価の違いが調理・加工特性に及ぼす影響について、調理方法ごとに検討するとともに、適正なデンプン価を明らかにすることとした。ダイコンにおいて、テクスチャーは食味や調理・加工適性を左右する重要な品質項目であり

（平本・松本，1992），サラダ等の生食用のほか、塩漬・煮熟後の硬さおよび煮くずれ等の特性に影響を及ぼす。現在、品質項目として重要なテクスチャーに優れただいこんの品種開発が進められているが、その品質評価は官能検査によるものであるため、年次、作期が異なる試料および多点数の試料を同一条件下で比較することが困難である。これまで、品種間でのテクスチャーの差異を客観的に評価する方法は確立されておらず、高品質なダイコン供給のためにはその評価法の開発がのぞまれる。そこで、特性の異なるいくつかの品種を用い、生、浅漬および煮熟により加工したダイコンのテクスチャー（硬さ）を対象に、物性測定機器による官能評価と整合性の高い客観的評価法を検討した。キャベツについても、ダイコンと同様に、テクスチャーが重要な品質項目であることから、その客観的評価法を検討した。スイカの場合、その重要品質項目である糖度は、光の屈折により可溶性固形分を測定して糖度に換算する糖度計がすでに生産現場で広く利用されているため、その評価法に関する検討は行わなかった。

第Ⅳ章では、野菜類の品質向上のための非破壊評価法について検討した。農産物は均一な生産管理が可能な工業製品と異なり、各種環境要因によって個体ごとの品質にばらつきが生じ、栽培法のみで一定の品質に揃えることが困難である。そのため、野菜の選果施設における全量非破壊評価およびそれに基づく選別・出荷が重要となる。それにより、流通上好ましくないものの除去や各種調理・加工用途の違いに応じて品質区分された野菜の供給が可能となり、流通および調理・加工段階での品質向上が図られる。ジャガイモでは、生育特性上、栽培技術のみで重要品質項目である塊茎ごとのデンプン価を均一にすることは困難である。このため、デンプン価を一定の範囲内に揃えて調理・加工による品質を安定させるには、塊茎のデンプン価をライン上で連続的に計測し、選別する機器の開発・導入が必要となる。そこで、デンプン価に基づくジャガイモ選別技術導入のため、実用的な選果機稼働条件下での可視・近赤外分光法を用いた非破壊測定法を検討した。また、ダイコンでは、根内部に発生する障害は、その商品性を著しく損なうことから大きな問題となる。すなわち、維管束が黒変するパーティシリウム黒点病症状が主なもので、クリーム発生の原因となる。これは多くの作物に感染する難防除土壌病害であることから、北海道内各産地での発生が認められる。現在、選果施設で受け入れられたダイコンは、水洗後コンベア上で人手および外観選別機により、曲がり、分岐根の有無、表皮の傷などの外観および規格により選別され

ている。しかし、内部障害については外観による判別が困難なため、ライン上での全量選別は実施されていない。そこで、可視・近赤外分光法を用いて、ダイコンのパーティシリウム黒点病症状を選果ライン上で計測・選別する方法を検討した。スイカでは、重要品質項目である果実糖度を選果場段階で光学的手法による非破壊評価法が生産現場に導入されていることから、ここでの新たな検討は行わなかった。

以上のように、生産から消費に至る各段階における野菜類の品質向上要因を解析し、その評価法を検討することにより、総合的な高品質野菜の供給が可能となると考え、本研究では主要な数種の野菜類を対象に、品質向上のための栽培法、調理加工適性に関する要因解析および評価法、さらに非破壊品質計測について詳細な検討を行った。



## 第Ⅱ章 野菜類の品質向上のための栽培法の確立

本章では、品質向上のための栽培法について検討した。ジャガイモおよびダイコンの栽培法と品質の関連成果は、前節で示したとおり既往の知見があり、栽培法としても確立されているため、これらの品目については、品質向上と栽培法に関する新たな検討を行わず、キャベツとスイカの品質向上に着目して検討した。

### Ⅱ-1. キャベツの内部成分含量の変動に及ぼす各種栽培環境要因

キャベツは淡色野菜に分類され、栄養面からは緑黄色野菜に比べて軽視されがちである。しかしながら、キャベツのビタミン C 含有率は一般的な緑黄色野菜に匹敵し、栄養摂取面から重要な野菜に位置づけられ（女子栄養大学，1998），ビタミン C 摂取源としての重要度は全野菜中第 1 位である（表Ⅱ-1-1）。また、特長的な成分として、消化器官での抗潰瘍作用および胃粘膜保護作用を有するビタミン U が含まれる。本研究では、キャベツの重要な品質項目である栄養・機能性を向上させる栽培法の確立のため、栽培環境によるビタミン C およびビタミン U 含有率の変動要因を解析し、その向上のための方策を提案した。

表Ⅱ-1-1 ビタミンC供給源として野菜の重要度順位

順位	品目	1人あたり	
		年間購入数量 <sup>1)</sup> (kg)	年間摂取 ビタミンC量 (mg)
1	キャベツ	5.0	2,050
2	ジャガイモ	4.0	1,400
3	ニンジン	2.7	621
4	ピーマン	0.8	608
5	ダイコン	5.4	594
6	ホウレンソウ	1.6	560
7	トマト	3.7	555
8	ハクサイ	2.8	532
9	キュウリ	3.2	448
10	タマネギ	4.9	392
11	ネギ	1.7	187
12	レタス	1.8	90
13	ナス	1.9	76
14	サトイモ	1.0	60

1) 平成13年度「野菜関係資料」より

2) 「五訂増補食品成分表2008」(女子栄養大学出版部)より(「生」の値)

3) 成人1人あたり年間所要量は、18,250mg(1日 50mg×365日)

### Ⅱ-1-1. キャベツのビタミンC含有率に及ぼす変動要因

#### Ⅱ-1-1-1. 材料および方法

##### a. キャベツのビタミンC含有率の実態

生産現場段階におけるキャベツのビタミン C 含有率の実態を把握するため、道央の主要産地から分析用キャベツ試料を収集した。すなわち、1996～1998年の7～10月に千歳市、恵庭市および南幌町で生産されたボール系主要品種「アーリーボール」，「プラディーボール」，「マヤボール」および「マルシェ」（計94点）を各地の集出荷施設から購入して供試した。

キャベツは、出荷用段ボール（8kg詰め）から5玉を採取し、各玉を8等分にしたものから等量を混合して縮分した。縮分した試料はフードプロセッサで細切し、10gをビーカーに計り取り、5%メタリン酸水溶液約70mLを加え、ホモジナイザーで磨砕してビタミン C を抽出した後、再度5%メタリン酸水溶液で100mLになるよう定容した。ビタミン C 抽出液は、ろ過した後、石井の方法にしたがって、高速液体クロマトグラフ（HPLC）で定量した（石井，1991）。

##### b. 生育に伴うビタミンC含有率の経時的変化

キャベツ定植後の生育に伴うビタミン C 含有率の経時的変化を明らかにするため、中央農試圃場において慣行法で栽培した試料を定期的に採取し、分析に供した。すなわち、1997年7月15日に定植した「金系201号」の地上部を、定植後0～90日目まで定期的に採取し、外葉、結球、芯の3部位に分けて、ビタミン C 含有率の変動を経時的に測定した。

##### c. 窒素施用量がビタミンC含有率に及ぼす影響

伊達市西胆振農業センター圃場において、異なる窒素施用量（0，15.4，22.0，33.0g m<sup>-2</sup>）でキャベツを栽培し、結球部のビタミン C 含有率を測定した（表Ⅱ-1-2）。な

表Ⅱ-1-2 窒素用量試験の各試験区の窒素施用量

処 理	窒素施用量(g m <sup>-2</sup> )		
	基 肥	追 肥	合 計
無窒素	0	0	0
30%減肥	10.8	4.6	15.4
標準施肥	15.4	6.6	22.0
50%増肥	23.1	9.9	33.0

リン酸およびカリの施肥量は、それぞれ施肥標準量15g m<sup>-2</sup>および20g m<sup>-2</sup>を施肥した

お、リン酸およびカリの施肥量は、それぞれ施肥標準量  $15 \text{ g m}^{-2}$  および  $20 \text{ g m}^{-2}$  を施肥した。供試品種は「北ひかり」（1996 年）および「金系 201 号」（1997, 1998 年）を用いた。

#### d. ビタミン C 含有率の簡易測定法

##### i) 各種抽出液中のビタミン C 含有率の経時的変化

小型反射式光度計（メルク社製「RQ フレックス」）を用いて、各産地で簡易にビタミン C 含有率を測定するための各種条件を検討した。ビタミン C は時間経過に伴って分解され、測定値に影響を及ぼすことが想定されるため、現場での抽出後も一定時間安定であることが望ましい。抽出液中のビタミン C を安定的に保存するためのよりよい条件を探るため、細切試料から異なる条件により抽出した液を  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  で 0 ～ 6 時間放置し、ビタミン C 含有率の経時的変化を測定した。抽出方法は、5%メタリン酸を加えホモジナイザーで磨砕する方法（HPLC により定量）、純水を加えホモジナイザーで磨砕する方法（HPLC により定量）およびニンニク絞り器で圧搾して搾汁液を得る方法（RQ フレックスにより定量）の 3 条件とした。ビタミン C 含有率の経時的変化は、抽出直後を 100 として、相対値で表した。

##### ii) 抽出方法の違いがビタミン C 抽出効率に及ぼす影響

キャベツ組織中からの抽出効率の違いを評価するため、5%メタリン酸存在化でホモジナイザーあるいは乳鉢で磨砕する方法およびニンニク絞り器で圧搾して搾汁液を得る方法の 3 条件で得られた抽出液のビタミン C 含有率を HPLC により測定した（各処理 10 反復）。

##### iii) RQ フレックスによるビタミン C 簡易測定法の検討

中央農試産キャベツ 78 点を 5%メタリン酸で抽出し、ビタミン C 含有率を HPLC および RQ フレックスにより測定し、両者の測定値を比較した。

## II-1-1-2. 結果および考察

### a. キャベツのビタミン C 含有率の実態

五訂食品成分表によると、キャベツのビタミン C 含有率は  $410 \text{ mg kg}^{-1}$  とされているが（女子栄養大学，2007），産地や収穫時期の違いは考慮されていない。そこで、北海道産キャベツの主要な収穫時期である夏～秋期（7 ～ 10 月）におけるビタミン C 含有率の実態を明らかにするため、1996 ～ 1998 年の 3 か年にわたり、各産地のキャベツ計 94 点のビタミン C 含有率を測定した。その結果、全試料の平均値は  $343 \text{ mg kg}^{-1}$ （新鮮重当たり、以下同様）であり、最低  $163 \text{ mg kg}^{-1}$  から最高  $590 \text{ mg kg}^{-1}$  まで広く分布した（図 II-1-1）。また、ビタミン C

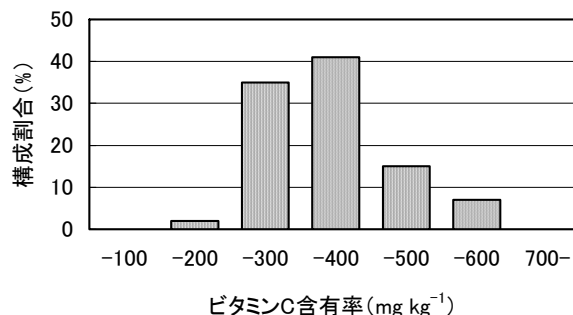


図 II-1-1 北海道産キャベツのビタミン C 含有率の変動実態

1996～98年(7～10月収穫)、南幌町,千歳市,恵庭市, n=94

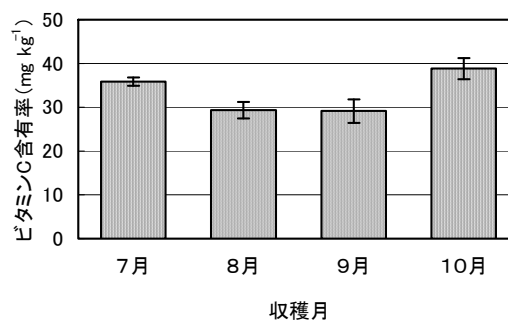


図 II-1-2 キャベツのビタミン C 含有率の収穫時期別変動

1996～98年(7～10月収穫) 南幌町,千歳市,恵庭市, n=94

エラーバーは標準偏差

含有率は収穫時期により変動した。すなわち、月別の平均値で見ると、7月では  $359 \text{ mg kg}^{-1}$  とほぼ平均値に近く、8月および9月はそれぞれ  $293 \text{ mg kg}^{-1}$  および  $291 \text{ mg kg}^{-1}$  とやや低下し、10月では  $388 \text{ mg kg}^{-1}$  に上昇した（図 II-1-2）。

このように、キャベツのビタミン C 含有率は収穫時期により大きく変動することが判明した。その平均値は、五訂食品成分表の値  $410 \text{ mg kg}^{-1}$  と比べて、 $67 \text{ mg kg}^{-1}$  低く、この値を上回った割合は全体で 19 %にとどまった。このため、栽培面からビタミン C 含有率の変動要因を明らかにするとともに、その向上技術の検討が必要と思われる。道外の事例では、12月～4月の冬期収穫作型でビタミン C 含有率が高く、それ以外の作型では低下することが報告されている（辻村ら，1997）。また、ホウレンソウにおいても、夏どり作型でビタミン C 含有

率が低下することが示されている（目黒ら，1991）．キャベツ結球部のビタミン C 含有率は，収穫前 5 日間の平均気温と負の相関があったとの報告もある（渡邊，1993）．本試験においても 10 月の収穫時期でビタミン C 含有率が高まったことから，生育期間中の気温，とりわけ収穫時期の低温条件がビタミン C 含有率の向上に影響を及ぼしたと考えられる．

本研究で実施した 1996～1998 年のキャベツのビタミン C 含有率平均値は  $343 \text{ mg kg}^{-1}$  であり，五訂食品成分表の  $410 \text{ mg kg}^{-1}$  に比べて低い値を示した（女子栄養大学，2007）．試料採取場所および採取時期等の不明な食品成分表の値と本研究の値を一律には比較できないが，キャベツが重要なビタミン C 供給源であることを考えると，これは考慮すべき問題と考えられる．収穫時期別に見ると，10 月どりではビタミン C 含有率が上昇し，食品成分表の値を上回るものが 35% に高まった．このことから，7～9 月どりのキャベツを重点にビタミン C 向上対策が必要と思われる．今後，キャベツのビタミン C 含有率向上のためには，技術開発上の目標として指標値を設定し，これを目標に低水準のものを底上げすることが重要である．当面，最低限達成されるべき指標値としては，夏どりキャベツのビタミン C 含有率の平均値である  $350 \text{ mg kg}^{-1}$  とするのが妥当と判断される．最低値が  $350 \text{ mg kg}^{-1}$  以上となれば，夏どりキャベツのビタミン C 含有率は大幅に向上すると考えられる．以下では，キャベツのビタミン C 含有率向上のため，栽培時の各種要因がビタミン C 含有率に及ぼす影響を検討した．

#### b. 生育に伴うビタミン C 含有率の経時的変化

定植後，生育および結球部の肥大に伴うビタミン C 含有率の経時的変化を各部位別に検討した（図 II-1-3）．キャベツは，定植 40 日後から結球が始まり，80～85 日後にはほぼ収穫適期に達した．外葉のビタミン C 含有率は，定植直後の  $1,200 \text{ mg kg}^{-1}$  から全期間を通じて  $1,000 \text{ mg kg}^{-1}$  以上の高い値を維持した．また，結球芯部も，ビタミン C 含有率は  $1,100 \sim 1,400 \text{ mg kg}^{-1}$  の高い水準であった．これに対し，可食部位である結球部のビタミン C 含有率は，結球開始直後に  $1,300 \text{ mg kg}^{-1}$  と最も高い値を示し，結球肥大に伴って徐々に減少し，収穫適期である定植 80 日後では  $550 \text{ mg kg}^{-1}$  と結球開始時の 1/2 未満となり，その後も漸減傾向であった．収穫時期が遅くなるとビタミン C 含有率の低下が想定されることから，適切な時期に収穫し，結球重量が出荷規格を満たした範囲内でやや小振りものを収穫することがビタミン C 含有率向上に有効であることが示唆された．

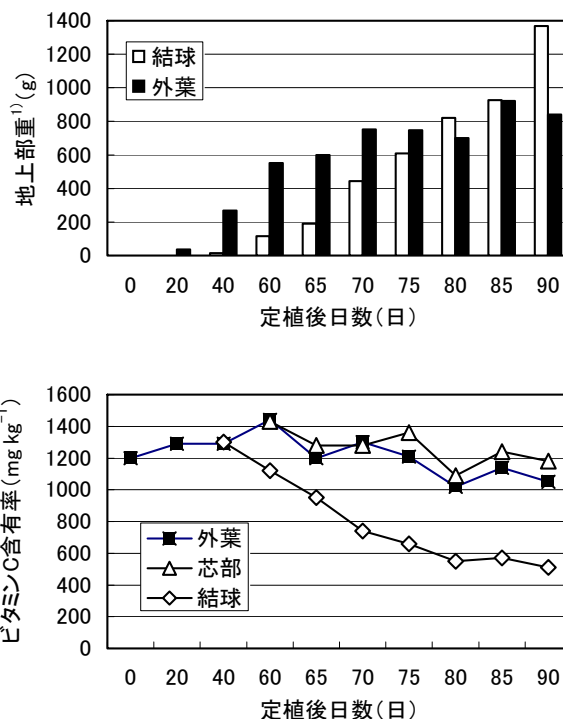


図 II-1-3 キャベツビタミンC含有率の経時的変化

1) 地上部重は1個体あたりの新鮮重

#### c. 窒素施用量がビタミン C 含有率に及ぼす影響

つぎに，窒素施用量の違いがキャベツのビタミン C 含有率に及ぼす影響について検討した．その結果，窒素施用量が多くなるにしたがって，ビタミン C 含有率は低下する傾向にあった（表 II-1-3）．

この傾向は，他の葉菜類でも認められており，水耕ホウレンソウ（張ら，1990），ホウレンソウ（目黒ら，1991），ホウレンソウとコマツナ（建部ら，1995）およびチンゲンサイ（池羽ら，2005）において，窒素施用量の増加に伴い，ビタミン C 含有率が低下することが報告されている．また，各種作物を対象に窒素施用量とビタミン C 含有率の関係に関する知見がレビューされているが（Mozafar，1993），おおむね窒素施用量の増加に伴いビタミン C 含有率が低下する傾向にあると結論づけられている．しかしながら，その機作の詳細はいまだに未解明な部分が多い．このように，窒素施用量を少なくすることで，ビタミン C 含有率は上昇することが認められているが，同時に，葉菜類では生育遅延や収量低下も生じる傾向があることから，両者の関係を留意して，過剰な窒素施用を避ける，適期収穫を励行するなどの対策を講じる必要がある．

表 II-1-3 窒素施用量の違いがビタミンC含有率に及ぼす影響

試験年次	収穫月日	窒素施肥	結球重 (g/個)	ビタミンC (mg kg <sup>-1</sup> )
1996	9月11日	30%減肥	910	330
		標準	1,020	339
		50%増肥	1,090	329
1997	8月6日	無窒素	440	510
		30%減肥	1,140	405
		標準	1,280	415
	10月6日	50%増肥	1,360	390
		無窒素	530	650
		30%減肥	1,330	560
1998	7月29日	標準	1,490	535
		50%増肥	1,580	510
		無窒素	930	476
9月29日	30%減肥	1,230	389	
	標準	1,360	301	
	50%増肥	1,300	302	
3か年平均 <sup>1)</sup>		無窒素	920	416
		30%減肥	1,070	316
		標準	1,040	301
		50%増肥	1,180	316
		無窒素	705	513
		30%減肥	1,136	400
		標準	1,238	378
		50%増肥	1,302	369

1) 3か年平均の無窒素区のみ1997年および1998年の2か年平均

#### d. ビタミンC含有率の簡易測定法

ビタミンC含有率向上に関する栽培技術等を開発するためには、生産現場でも容易に活用可能なビタミンC定量法の確立が不可欠である。そこで、キャベツにおけるビタミンC簡易抽出条件および携帯可能な測定装置であるRQフレックスによる測定法を検討した。RQフレックスによる測定手順は、試験紙を抽出液に浸漬し、呈色部を反射式光度計で測定するもので、キュウリおよびホウレンソウでは還元型ビタミンCの簡易測定法として適用できることが報告されている(建部・米山, 1995)。

まず、各種抽出液の違いによるビタミンC含有率の経時的変化を測定し、抽出後の時間経過によるビタミンC含有率の低下が少ない条件を検討した。抽出操作直後の各抽出液のビタミンC含有率を100%としてその変化を表すと、メタリン酸抽出では6時間経過後も抽出直後と同等のビタミンC含有率を保持しており、室温放置条件下においても低下は認められなかった(図II-1-4)。一方、純水を用いて抽出した場合、抽出直後からビタミンC含有率は急速に低下し、1時間後には約50%、6時間後には10%未満となった。また、搾汁原液では、ビタミンC含有率の低下が純水抽出に比べると緩慢であったが、30分後には抽出直後の約90%に低下した。し

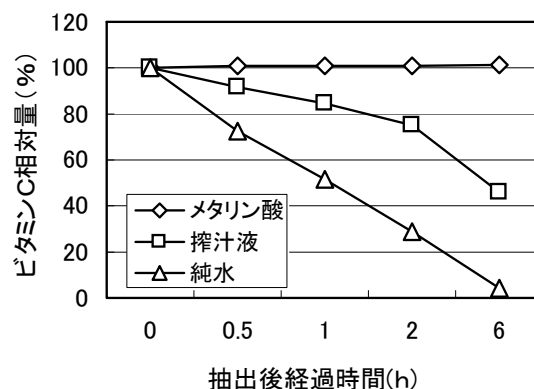


図 II-1-4 抽出液中のビタミンC含有率の経時的変化

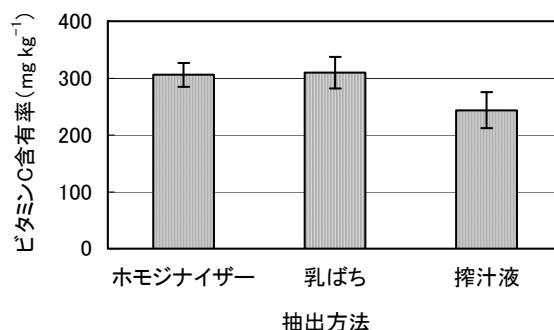


図 II-1-5 抽出方法の違いがキャベツからのビタミンC抽出効率に及ぼす影響

たがって、キャベツからのビタミンC抽出はメタリン酸存在下で行うのが適当であると判断された。

次に、抽出方法の違いがビタミンC抽出効率に及ぼす影響について検討した。その結果、ホモジナイザーが使用できない場合を想定した乳鉢による磨砕抽出法は、常法であるホモジナイザー抽出法と同等の抽出効率であった(図II-1-5)。一方、ニンニク絞り器による搾汁は、最も操作性が簡便であるが、抽出効率が常法の約80%と低く、サンプル量および圧搾力をほぼ同一にした条件下でも抽出量のばらつきが大きかった。これらのことから、常法に加え、乳鉢による磨砕抽出法もキャベツからのビタミンC抽出に有効であると判断された。これらをまとめると、RQフレックス測定のための抽出条件は、5%メタリン酸存在化で、ホモジナイザーあるいは乳鉢で磨砕抽出するのが最適であると判断される。

さらに、HPLCおよびRQフレックスによるビタミンC含有率測定値の関係を検討した。その結果、RQフレ

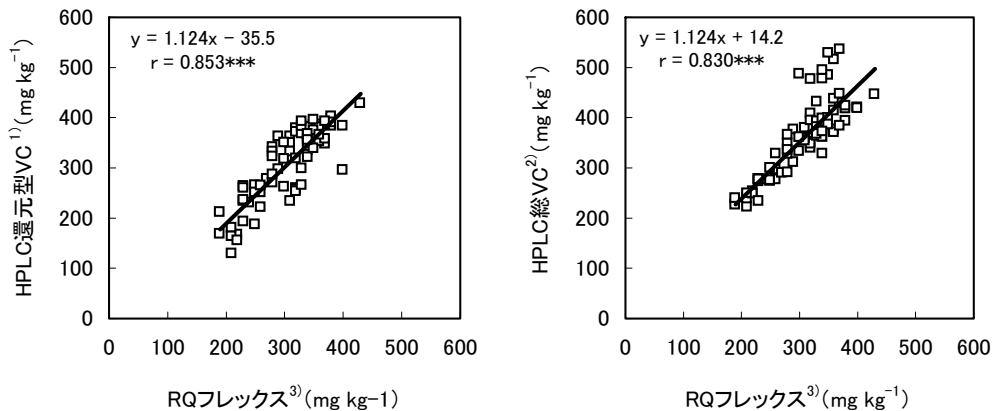


図 II-1-6 RQフレックス測定値とHPLCによる還元型および総ビタミンC含有率の関係

- 1) HPLCによる還元型ビタミンC含有率
- 2) HPLCによる総ビタミンC含有率
- 3) RQフレックスによるビタミンC含有率

ックスによるビタミンC含有率測定値は、HPLCによる還元型および総ビタミンC含有率と非常に相関が高かった(図II-1-6)。この結果を元に、RQフレックスによる測定値からHPLCによる測定値へ換算する際の回帰式は、還元型および総ビタミンCでそれぞれ  $y = 1.124x - 35.5$  および  $y = 1.124x + 14.2$  と算出された。以上の換算式により、ビタミンC含有率を換算すれば、キャベツにおいてもRQフレックスによる簡易測定法が適用できると判断される。

以上のように、キャベツのビタミンC含有率の変動要因について検討した結果、以下の要因が明らかとなった。すなわち、生育に伴うビタミンC含有率の経時的変化として、結球部では結球初期に最もビタミンC含有率が高く、生育が進むにつれて低下し、収穫期には初期の1/2以下となった(図II-1-3)。また、窒素施用量の増加によりビタミンC含有率は低下した(表II-1-3)。さらに、作型の影響として、7~9月収穫ではビタミンC含有率が低い傾向にあり、10月収穫では比較的高い値となった(図II-1-2, 表II-1-3)。本試験において7~9月の高温期にビタミンC含有率が低下することと合わせて、生育期間中の高温がビタミンC含有率低下に影響を及ぼしたと考えられる。収穫期を早め、過剰な窒素施肥を控え、規格内でやや小振りな個体を収穫することにより、ビタミンC含有率の高いキャベツ生産が可能になることが示唆された。

## II-1-2. 窒素栄養条件がキャベツのビタミンU含有率に及ぼす影響

### II-1-2-1. 材料および方法

#### a. ビタミンU含有率の実態調査

1996~1998年の3か年、7~10月収穫の各作期毎に北海道内3市町の現地圃場および集出荷施設から採取したキャベツ計92点を分析した。試料は1点あたり5~8個の結球部を採取し、3~4cm角に切断・混合した後、一部をとりフードプロセッサーでみじん切りにしてビタミンUの分析に供した。

#### b. 窒素施用試験

窒素用量系列は無窒素、標準(22 g m<sup>2</sup>)、3割減肥(15.4 g m<sup>2</sup>)、5割増肥(33 g m<sup>2</sup>)の4処理とした。施肥は基肥に7割を全面全層に施用し、残り3割を結球始期に畦面に分施した。また、有機質肥料系列として標準区の窒素施肥量相当の魚かすおよび米ぬか(全窒素量換算)を全量基肥施用する2処理を加えた。いずれの処理区もリン酸およびカリは各々一定量15 g m<sup>2</sup>および20 g m<sup>2</sup>を施用した。試験圃場は1997~98年の2か年、伊達市西胆振農業センター圃場(淡色黒ボク土、以下伊達圃場と略)に設置した。なお、1998年は中央農業試験場圃場(細粒褐色森林土、以下農試圃場と略)での有機質肥料系列を加えた。供試品種は「金系201号」、作期は夏どり(7月下旬~8月上旬収穫)および秋どり(9月下旬~10月上旬収穫)とした。

#### c. 水耕栽培による生育時期別窒素供給

ロックウールを充填したコンテナとプラスチック製タ

ンクをビニールハウスで接続した水耕栽培装置を作成し（小宮山ら，1997），ガラス室内に設置した．これに「金系 201 号」の苗を定植し（1998 年 7 月 15 日），養液を満たしたタンクから養液供給を行った．定植から収穫までの 60 日間を前，中，後期の 3 期に区分し，生育時期別に異なる窒素濃度の養液供給を行う 6 処理区を設定した（図 II-1-7）．養液の窒素濃度は標準濃度（S） $200 \text{ mg L}^{-1}$  および低濃度（L） $50 \text{ mg L}^{-1}$  とした．なお，生育前期に標準濃度の窒素供給を行った処理区を先入れ系列，生育前期に低濃度の窒素供給を行った処理区を後入れ系列とした．窒素以外の養液組成は P: 40, K: 160, Ca: 100, Mg: 50, Fe: 1.0, Mn: 0.2, Cu: 0.1, Zn: 0.1, B: 0.1, Mo: 0.1 ( $\text{mg L}^{-1}$ ) とした．

#### d. ビタミン U の定量

フードプロセッサーでみじん切りにしたキャベツ試料 10 g に 80% エタノールを加えてホモジナイザーで 1 分間摩砕後，100 mL に定容し，室温暗所で一晩放置後，ろ過してろ液を抽出液とした（瀧川・石井，1996）．これを濃縮乾固後， $0.02 \text{ mol L}^{-1}$  塩酸で溶解し，アミノ酸アナライザー（HITACHI L-8500）によりビタミン U を定量した．

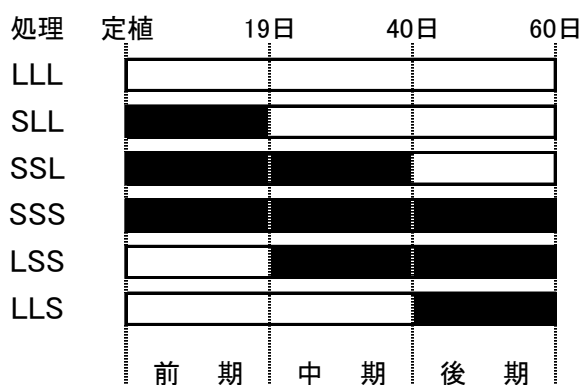


図 II-1-7 水耕栽培における生育時期別窒素供給処理

- および「S」は標準濃度 ( $200 \text{ mg L}^{-1}$ ) の窒素供給期間
- および「L」は低濃度 ( $50 \text{ mg L}^{-1}$ ) の窒素供給期間

### II-1-2-2. 結果および考察

#### a. ビタミン U 含有率の実態調査

新鮮物中のビタミン U 含有率は，全供試試料の平均値  $28.9 \text{ mg kg}^{-1}$ ，最低値  $7.0 \text{ mg kg}^{-1}$  および最高値  $66.2 \text{ mg kg}^{-1}$  であった（図 II-1-8）．また，各作期別平均値は 7 月が  $40.6 \text{ mg kg}^{-1}$  と最も高く，次いで 8 月  $30.3 \text{ mg kg}^{-1}$ ，9 月  $22.4 \text{ mg kg}^{-1}$ ，10 月  $13.2 \text{ mg kg}^{-1}$  の順であった．このよ

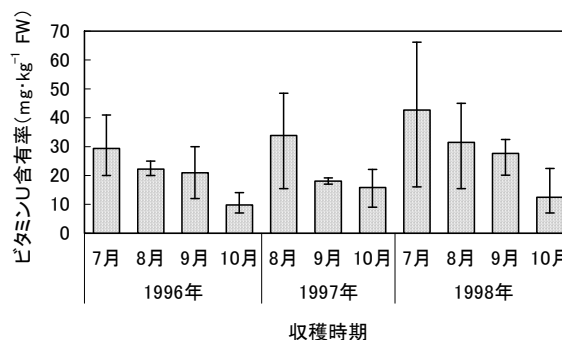


図 II-1-8 収穫時期がキャベツのビタミン U 含有率に及ぼす影響

図中のバーは，最小値および最大値を示す．

試料点数は，1996年7,8,9,10月が各々5,5,5,4点，1997年8,9,10月が各々6,2,8点，1998年7,8,9,10月が各々27,17,3,10点．

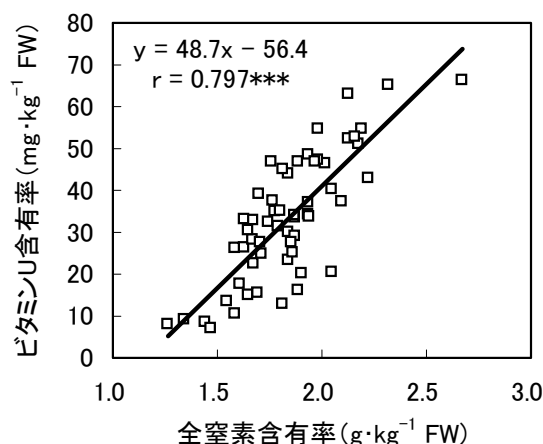


図 II-1-9 キャベツの全窒素含有率とビタミン U 含有率の関係

供試試料は1998年現地産キャベツ (n=57) \*\*\*,  $P < 0.001$

うに，キャベツのビタミン U 含有率は，夏どりで高く秋どりで低下する傾向にあったことから，生育期間中の気象条件が影響しているものと考えられた．

さらに，ビタミン U 含有率は全窒素含有率と高い正の相関が認められた（図 II-1-9）．

#### b. 窒素施用量がビタミン U 含有率に及ぼす影響

現地実態調査の結果から，キャベツのビタミン U 含有率は作期および窒素含有率と密接に関連していた．そこで，作期別に窒素用量試験を実施してビタミン U 含有率との関係について精査した．その結果，無窒素区のビ

表 II-1-4 窒素施用量および条件がキャベツのビタミンU含有率に及ぼす影響

試験年次 および 試験場所	窒素 施用条件	夏どり			秋どり			作期間差 ビタミンU
		平均一球重 (g)	ビタミンU (mg·kg <sup>-1</sup> FW)	窒素吸収量 (kg·ha <sup>-1</sup> )	平均一球重 (g)	ビタミンU (mg·kg <sup>-1</sup> FW)	窒素吸収量 (kg·ha <sup>-1</sup> )	
1997年 伊達 圃場	無窒素	450 a	10.3 a	40 a	530 a	2.1 a	38 a	**
	3割減肥	1140 b	27.7 bc	93 c	1330 b	11.4 b	84 b	
	標準	1290 b	40.2 c	111 d	1490 b	14.8 b	92 b	
	5割増肥	1360 b	42.6 c	121 d	1580 b	16.4 b	97 b	
	魚かす	1420 b	34.1 c	112 d	1430 b	5.5 a	77 b	
	米ぬか	660 a	18.1 ab	68 b	920 a	5.1 a	46 a	
1998年 伊達 圃場	無窒素	510 a	6.3 a	88 a	520 a	8.2 a	80 a	*
	3割減肥	830 b	25.8 b	144 b	1020 b	14.4 ab	122 b	
	標準	1310 c	32.6 b	172 b	1080 b	19.7 b	134 b	
	5割増肥	1230 c	30.1 b	185 b	1190 b	24.6 b	159 b	
	魚かす	1220 c	28.9 b	171 b	1120 b	22.3 b	132 b	
	米ぬか	240 a	15.2 a	80 a	620 a	13.6 a	115 b	
1998年 農試 圃場	無窒素	0	ND	45 a	0	ND	30 a	*
	標準	1410 c	20.1 c	168 c	1690 b	7.4 b	107 c	
	魚かす	810 b	11.5 b	122 b	1110 a	5.8 a	84 b	
	米ぬか	240 a	0.6 a	61 a	800 a	Tr.	71 ab	
1998年 圃場間差	標準		*			*		

表中のアルファベット異文字間に5%水準で有意差あり。\*および\*\*は各々5%および1%水準で有意差あり  
 窒素吸収量は、結球部および外葉部の合計  
 1998年農試圃場の無窒素区は結球せず ND:測定不能 Tr:Trace

タミ ン U 含有率は著しく低く、窒素施用量が多い処理ほどビタミン U 含有率は高い傾向にあった (表 II-1-4)。また、有機質肥料系列、とりわけ米ぬか区のビタミン U 含有率は標準区に比べて低かった。

圃場間で比較すると、農試圃場に比べて伊達圃場ではビタミン U 含有率が高かった。また、作期間でビタミン U 含有率を比較すると、秋どりに比べて夏どりで高かった。

このように、ビタミン U 含有率は窒素栄養条件によって大きく変動することが示唆された。すなわち、「窒素施用量の減少」により低下し、「窒素供給能の高い土壌での栽培」および「夏どり作型」の条件で高まることが明らかとなった。

c. 窒素供給時期がビタミン U 含有率に及ぼす影響

水耕栽培により、窒素供給時期の違いがビタミン U 含有率に及ぼす影響を検討した。その結果、ビタミン U 含有率は標準窒素濃度期間が長いほど高まり、結球重の増加とほぼ同じ傾向を示した (表 II-1-5)。各生育時期別のビタミン U の生産効率を処理間の差から算出した結果、先入れ系列では中期の効率が最も高く、次いで後期、前期の順であった (表 II-1-6)。一方、前期に低窒素処理を行った後入れ系列では、生育が大幅に遅延する

表 II-1-5 生育時期別窒素供給がキャベツのビタミンU含有率に及ぼす影響

処 理	平均 一球重 (g)	ビタミンU (mg·kg <sup>-1</sup> FW)
LLL	330 a	5.5 a
SLL	760 c	7.4 ab
SSL	1220 d	16.7 d
SSS	1270 d	21.7 e
LSS	590 abc	10.1 abc
LLS	400 ab	9.1 abc

表中のアルファベット異文字間に5%水準で有意差あり

表 II-1-6 生育時期別窒素供給により算出されたビタミンUの生産効率

系列	標準濃度 窒素の 供給時期	処理 間差	処理 日数 (d)	1日あたり生産効率	
				結球重 (g·d <sup>-1</sup> )	ビタミンU (μg·kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )
先入れ 系列	前期	SLL-LLL	19	22.6	100
	中期	SSL-SLL	21	21.9	443
	後期	SSS-SSL	20	2.5	250
後入れ 系列	前期	SSS-LSS	19	35.8	611
	中期	LSS-LLS	21	9.0	48
	後期	LLS-LLL	20	3.5	180

1日あたり生産効率=各処理間差/処理日数

とともに、ビタミン U 含有率も大きく低下し、ビタミン U の生産効率は前期で著しく大きくなった。

窒素施用量との関係に関して、キャベツ（古館・目黒，2002；矢野・小濱，1983），ジャガイモ（古館・目黒，2001）およびチャ（Okano ら，1997）では窒素増肥による総遊離アミノ酸含有率の上昇が認められている。ビタミン U も遊離アミノ酸の一つであることから、窒素代謝の過程で窒素吸収量に依存して蓄積量が高まったと推察される。また、有機質肥料系列では生育初期の窒素供給量が化学肥料に比べて少ないため、ビタミン U 含有率が低くなったと考えられる。とりわけ、窒素無機化が緩慢な米ぬかではその傾向が顕著である。このことは、水耕試験で生育前期の窒素供給を低濃度にした処理区でビタミン U 生産効率が顕著に低かったことから裏付けられる。

農試圃場に比べて伊達圃場ではいずれの処理区でもビタミン U 含有率が高かった。これは、無窒素区における窒素吸収量からみて農試圃場よりも伊達圃場の方が窒素供給能が高いと推察されることから、土壌からの窒素供給量の差がビタミン U 含有率にも反映したと考えられる。

さらに、現地実態調査および窒素用量試験のいずれでも作期によるビタミン U 含有率の変動が大きく、秋ど

りよりも夏どりが高い傾向にあった。

これらのことは、各作期における土壌および気象条件に起因すると考えられる。すなわち、夏どりは秋どりに比べて、ビタミン U 生産効率の高い生育中期から後期の地温が高いために土壌からの窒素供給量が多いこと、また夏どりの方が降水量が少ないために土壌無機態窒素の流亡が少なく、窒素吸収量および施肥窒素利用率が高いこと（小野寺ら，2000）によると推察される。

以上のように、キャベツのビタミン U 含有率は窒素栄養条件により変動するため、耕種的な向上方策が可能と考えられる。しかし、単なる窒素増肥は耐病性の低下、作物体内の硝酸含有率上昇および環境負荷の増大が危惧される。このため、ビタミン U 含有率の向上には作期および土壌の窒素供給能を考慮しつつ、少肥型で窒素利用効率が高くビタミン U 含有率も高い品種の選定とともに効率的な時期に窒素供給が行われるような肥効調節型肥料の施用および分追肥の比率を考慮した窒素施肥が必要と考えられる。なお、品種とビタミン U 含有率の関係は未検討な部分が多く、品種間差については今後の検討が期待される。また、有機質肥料の代替施用による減化学肥料栽培を行う場合、速効性で窒素無機化率の高い有機質肥料を用いることが、生育収量の確保とともにビタミン U 含有率向上に有効である。



## II-2. スイカの品質(果実糖度)に及ぼす窒素施肥形態の影響

北海道内のスイカ生産現場において有機質肥料は多くの生産者により使用されているが、(表II-2-1)生育、収量および品質に及ぼす効果は明確に整理されていない。そのため、化学肥料を有機質肥料に代替して施用した場合、その肥効の違いから収量および品質を低下させる懸念がある。そこで、スイカに対する各種有機質肥料の施用効果について、窒素供給面(有機質肥料の窒素無機化特性)および窒素吸収(スイカの窒素吸収特性)から評価し、収量および品質を維持した効率的な有機質肥料の施用方法を検討した。

### II-2-1. 有機質肥料の窒素無機化特性

#### II-2-1-1. 材料および方法

各種有機質肥料の窒素無機化特性を明らかにするために、樋口(1982)の方法に準じて、以下のとおりインキュベーション試験を実施した。供試した有機質肥料は、市販の「魚かす」、「ナタネ油かす」、「ダイズ油かす」、「乾燥鶏ふん」および「発酵鶏ふん」であり、それぞれの全窒素含量は表II-2-2に示した。インキュベーション試験は、北海道原子力環境センター(以下、センターと略)褐色森林土圃場の作土より採取した風乾細土10gおよび全炭素で約0.5%相当量の有機質肥料を150ml容の円筒型ガラスビンに加えて混合し、さらに4mLの水を加えた後、ポリエチレン製フィルムでビン口を被覆して、恒温器中に放置して実施した。インキュベーション温度は25℃および35℃、期間は0~100日間に設定し、20日毎にサンプリングして生成した無機態窒素量を測定した。無機態窒素は、試料の入ったインキュベーション容器中に10%塩化カリウム100mLを加えて浸透抽出し、ろ過した後、窒素蒸留法により定量した。窒素無機化率(%)は、「試料から生成した正味の無機態窒素含量」を「試料中の全窒素含量」で除し、こ

れに100をかけて%表示で算出した。

#### II-2-1-2. 結果および考察

現在、野菜に対して動物質、植物質の有機質肥料の施用が行われており、その種類は多岐におよぶ。そのため、これらを化学肥料(窒素)の代替として施用した場合、同じ分量でも肥効は異なると考えられる。キャベツおよびサツマイモに対して有機質肥料を代替施用した例では、魚かすおよびナタネ油かすでは比較的良好な生育・収量を示したが、鶏ふんの肥効は劣り、単独施用する場合、施用量を多くする必要があった(貝原, 1996)。このことは、有機質肥料の窒素無機化特性は多様で、作物への窒素の供給時期や量が異なるためと考えられる。そこで、スイカの実験現場で使用頻度の高い有機質肥料について、窒素無機化特性を知るためにインキュベーション試験を行った。

地温測定データに基づき(図II-2-1)、25℃および35℃の2水準でインキュベーションを行い、各種有機質肥料の窒素無機化特性を明らかにした(図II-2-2)。いずれの有機質肥料においてもインキュベーション温度が高いほど窒素無機化率も高まった。各種有機質肥料の無機化特性をみると、窒素無機化が速いもの(魚かす、ナタネ油かす、ダイズ油かす)と遅いもの(乾燥鶏ふん、発酵鶏ふん)の大きく2種類に区分された。前者における窒素無機化は試験開始後20日目までに急速に行われ、その後無機化速度は緩やかになり60日目には25℃条件で全窒素の70~80%が無機化された。一方、後者の無機化速度は緩慢で、25℃条件で試験開始後60日目における無機態窒素量は全窒素量の20~30%にとどまり、100日目においても40~50%であった。これらは、インキュベーション開始時にはすでに一定量の無機態窒素が存在したが、インキュベート開始後に無機化された窒素量は全窒素量の約20%にとどまった。三幣(1984)は、3種の有機質肥料について窒素無機化速度を調査し

表II-2-1 スイカ生産における有機質肥料の施用実態

作型	調査生産者数	生産者数 <sup>*1</sup>								
		無施用	らいでん特号 <sup>*2</sup>	魚かす	鶏ふん	ナタネ油かす	米ぬか	スーパーランド	サンティアノ	その他
トンネル早熟作型	15	1	10	4	6	0	1	1	1	2
ハウス半促成作型	13	0	5	4	5	3	3	3	4	5

\*1:1995年、共和町における調査。複数回答あり。

\*2:「らいでん特号」は有機物を全窒素換算で35%含む化成肥料。

表 II-2-2 供試資料の全窒素含有率

有機質肥料	全窒素 (%)
魚かす	8.94
ナタネ油かす	5.79
ダイズ油かす	7.04
乾燥鶏ふん	2.65
発酵鶏ふん	2.01

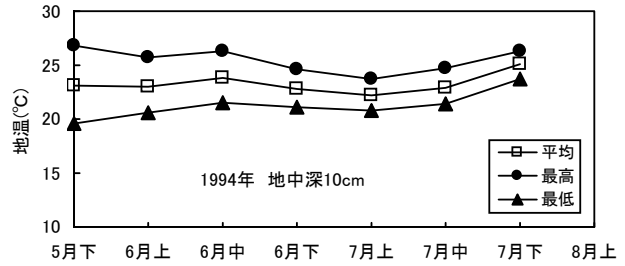
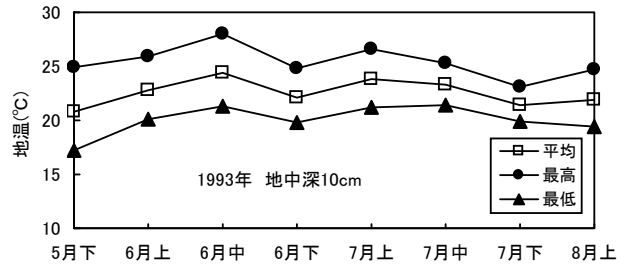
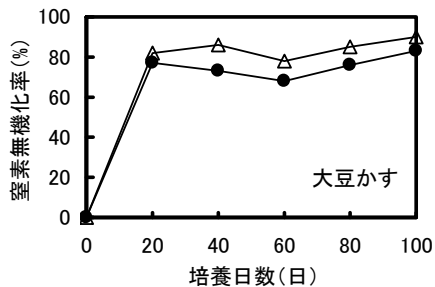
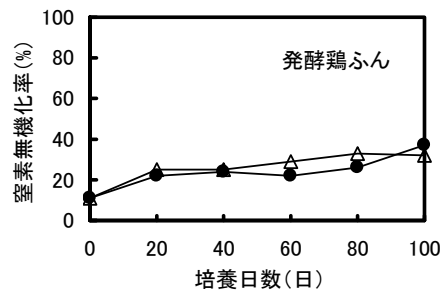
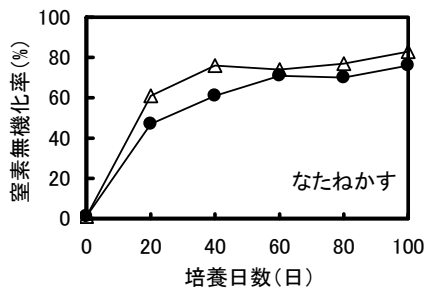
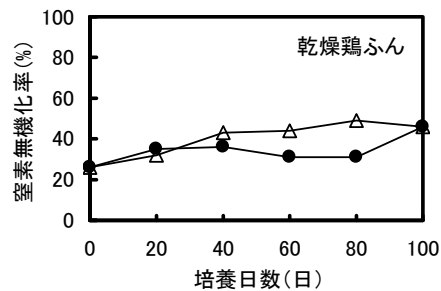
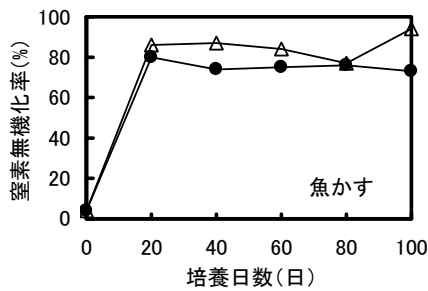


図 II-2-1 スイカ栽培期間中のマルチ下部地温の旬別推移



培養温度: ●, 25°C; △, 35°C

図 II-2-2 各種有機質肥料の窒素無機化特性

20日毎に生成した無機態窒素を定量した。また、有機質肥料無添加の処理をブランクとし、有機質肥料由来の無機態窒素量を求めた。窒素無機化率は次式により算出した。

$$\text{窒素無機化率}(\%) = \frac{\text{有機質肥料由来の無機態窒素含量}}{\text{有機質肥料の全窒素含量}} \times 100$$

た結果、魚かすが最も速く、ダイズ油かすおよび鶏ふんはほぼ同程度であることを示した。しかし、本研究の結果では乾燥鶏ふんおよび発酵鶏ふんの窒素無機化速度はダイズ油かすに比べて遅く、緩効性を示した。これは、形状・製法の違いにもよるが、鶏ふんの尿酸以外のタンパク態窒素の無機化が緩慢なことによると考えられた。

## II-2-2. 有機質肥料による減化学肥料栽培と果実収量・品質

### II-2-2-1. 材料および方法

#### a. 栽培法

スイカの栽培法は、特に断りのない限り以下の方法で行った。供試品種は「ファインエース」を用い、トンネル早熟作型で栽培を行った。また、すべてユウガオ台木「FR 長寿」による接木を行い、ガラス温室内で約 35 日間育苗し、5 月上～中旬に育苗後の苗を試験圃場に定植した。栽植密度は株間 1m、畦間 3m とし、整枝法は子づる 4 本 2 果どり、着果後 40～45 日目を収穫期とした。

#### b. 分析法

果実糖度 (Brix%) はデジタル糖度計「ATAGO PR-100」により測定した。また、作物体サンプルは 70℃で通風乾燥後、粉碎し、化学分析用試料とした。その他、作物体および土壌の分析法は常法 (土壌環境分析法編集委員会編, 1997) に従って実施した。

#### c. 各種有機質肥料の施用試験

センター圃場 (1993～1995 年) および現地圃場 (1994 年) において、各種有機質肥料の施用試験を実施した。窒素施肥量は  $6\text{g m}^{-2}$  (1993 年, センター圃場は  $7.5\text{g m}^{-2}$ ) とし、窒素施肥量の内、20%を化学肥料 (尿素), 80% (全窒素換算) を魚かす, ナタネ油かす, ダイズ油かす, 乾燥鶏ふんおよび発酵鶏ふんの各種有機質肥料により施用した。対照として、全量化学肥料区を設定した。P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> および K<sub>2</sub>O の施用は、過リン酸石灰および硫酸カリウムでそれぞれ  $20\text{g m}^{-2}$  および  $15\text{g m}^{-2}$  を施用した。試験区面積は 1 区  $3\text{m} \times 10\text{m}$  とし、各処理区 2 反復で行った。

### II-2-2-2. 結果および考察

各種有機質肥料を化学肥料 (窒素) の代替として施用し、スイカの減化学肥料栽培試験を行った。すなわち、窒素施用量の 80% を各種有機質肥料 (全窒素含量で換算, 残り 20% は化学肥料) により代替する処理区を設定し、収量および品質に対する有機質肥料の影響を調査した。全量化学肥料区を対照とした場合、果実収量はダイズ油かす区で優り、魚かすおよびナタネ油かす区では

表 II-2-3 有機質肥料主体の窒素施肥がスイカの果実収量および糖度におよぼす影響

処理区*1	果実収量*2 ( $\text{kg m}^{-2}$ )	窒素吸収量 ( $\text{kg m}^{-2}$ )	糖度 (Brix%)
化学肥料	4.67 (100)	5.72	12.0
魚かす	4.53 (97)	5.43	12.0
ナタネ油かす	4.63 (99)	5.55	11.7
ダイズ油かす	5.13 (110)	6.15	11.9
乾燥鶏ふん	4.32 (93)	4.41	11.7
発酵鶏ふん	3.76 (81)	4.09	11.1

センター圃場 (1993～1995 年) および現地圃場 (1994 年) の平均値。スイカ供試品種は「ファインエース」。

\*1 窒素施肥量 (全窒素換算):  $7.5\text{g m}^{-2}$  (センター圃場 1993),  $6\text{g m}^{-2}$  (センター圃場 1994, 1995),  $8\text{g m}^{-2}$  (現地圃場 1994). P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> および K<sub>2</sub>O 施用量は全区共通でそれぞれ  $15, 15\text{g m}^{-2}$ .

\*2 ( ) 内は化学肥料区を 100 とした収量指数。

ほぼ同等、乾燥鶏ふんおよび発酵鶏ふん区で劣った (表 II-2-3)。また、果実糖度は発酵鶏ふん区で低かった。

この栽培試験の結果と前述の各種有機質肥料の窒素無機化特性を勘案すると、速効性の有機質肥料系列 (魚かす, ナタネ油かす, ダイズ油かす) では化学肥料とほぼ同等の収量を示し、緩効性の有機質肥料系列 (乾燥鶏ふん, 発酵鶏ふん) では化学肥料区に比べて収量が低下することが示唆された。これらの結果から、スイカの生育・収量および果実品質にとって、生育期間内の窒素無機化率が高く、かつ生育前半に重点的に窒素供給が可能な有機質肥料が有効であることが推察された。この点を明らかにするために、次にスイカに対する好適窒素供給時期を検討し、有機質肥料の無機化特性との関係を明らかにする。

### II-2-3. スイカに対する好適窒素供給時期の解明

#### II-2-3-1. 材料および方法

生育ステージ毎に養分供給を制御できる養液栽培法を用いて、スイカの収量および果実品質から見た好適窒素供給時期を検討した。スイカ栽培は、ポリカーボネート製ハウス内で実施し、1 株あたり子づる 2 本で 1 果どりとした。装置はロックファイバー (日東紡績社製) を充填したポリコンテナ (横  $76\text{cm} \times$  縦  $41\text{cm} \times$  深さ  $20\text{cm}$ ) を栽培槽とし、ビニールハウスにより養液供給用の 20L 容ポリタンクと接続した。ポリコンテナ上部はシルバーマルチにより被覆した。基本培養液 (+N 養液) の養液組成は、N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO および MgO がそれぞれ 190, 90, 260, 200, 120  $\text{mgL}^{-1}$  となるように調製し、

微量元素混合液（5000 倍希釈）を加えた。また、基本培養液の内、Nのみ除いたものを-N 養液とした。

生育ステージ別の窒素供給処理は、ロックファイバー製の小型ポットに播種後、上記+N 養液で 45 日間育苗後、1 コンテナあたり 2 株を定植した。定植～収穫までの 70 日間を 14 日毎に「茎葉伸長期」、「開花期」、「果実肥大前期」、「果実肥大後期」および「成熟期」に 5 区分し、各ステージ別に窒素供給処理を行った（図 II-2-3）。各処理区 3 反復で試験を実施した。栽培槽への養液供給は、養液供給用ポリタンクを栽培槽より上部に持ち上げ、栽培槽にいったん養液を充満させた後、すぐに下げ過剰な養液を排出する事により行った。これにより、栽培槽中のロックファイバーにはスイカ生育に適度な養液相および空気相を保持することができる。

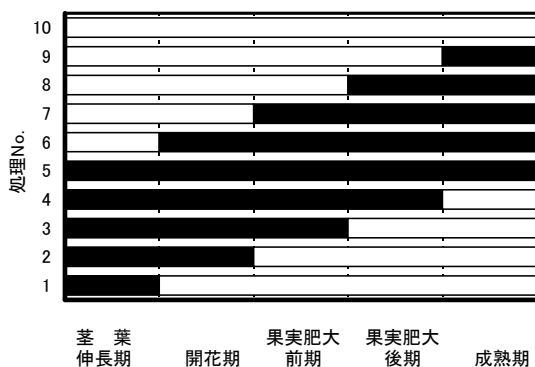


図 II-2-3 養液栽培試験における時期別窒素供給

■, +N 処理; □, -N 処理

基本培養液(+N 養液)の組成 (mg L<sup>-1</sup>)は, N,190; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,90; K<sub>2</sub>O,260; CaO,200; MgO,120;微量元素混合液(市販のロックン肥料 5000倍希釈)とした。この内、N 成分のみ除いたものを -N 養液とした。

表 II-2-4 生育初期の窒素供給がスイカの着果におよぼす影響

N供給の有無*		1株あたりの着果数(個)		
茎葉伸長期	開花期	交配開始後日数		
		6日目	7日目	12日目
+N	-N	0.00	0.75	1.50
+N	+N	0.77	1.68	2.18
-N	+N	1.17	1.50	2.17
-N	-N	0.00	0.17	1.17

\*: 窒素供給の有無は図 II-2-3に示した処理区のとおり。

## II-2-3-2. 結果および考察

ロックウールを用いた養液栽培法により、各生育ステージ別に窒素供給を行い（図 II-2-3）、スイカに対する好適な窒素供給時期について検討した。最初に、生育初期の窒素供給が着果性に及ぼす影響を検討した結果、開花期に窒素供給を行った区（処理 2～5 および 6）は順調に着果が進んだのに対し、開花期に窒素供給を行わなかった区（処理 1 および 7～10）では着果時期が遅れた（表 II-2-4）。また、交配開始後 12 日目の総着果数は、茎葉伸長期・開花期窒素供給区および開花期窒素供給区で最も多く、次いで茎葉伸長期窒素供給区、両期間無窒素区の順であった。つまり、開花期の窒素施用は、着果を早めるとともに総着果数の増加をもたらした。このことは、開花期の窒素供給は着果に対して最も重要で、この時期の低窒素条件によって着果数が減少する事を示唆した。

収穫時の地上部窒素吸収量および果実重量の値は、いずれも処理 3, 4, 5 および 6 で高かった（図 II-2-4A および B）。処理 3 および 4 では、それぞれ果実肥大後期からと成熟期からの窒素供給を打ち切っているにもかかわらず、果実重量が全区間通して窒素供給を行った処理 5 とほぼ同等であった（図 II-2-4B）。このことは、果実肥大後期と成熟期の窒素供給は果実重量の増加に対する効果が少ないことを示唆している。また、果実肥大前期より前に窒素供給を打ち切った処理 1 および 2 は、果実肥大前期以降も窒素供給を行ったものに比べ、収穫時の果実重量は小さくなった。一方、処理 6, 7, 8 および 9 の窒素後入れ系列において、処理 6 では茎葉伸長期の窒素供給はないが開花期以降の窒素供給により、全期間窒素供給を行った処理 5 と同等の果実重量となった。これに対して、処理 7, 8 および 9 のように窒素供給時期が遅くなる処理ほど、果実肥大が遅れ果実重量は小さくなった。特に成熟期のみ窒素供給を行った処理 9 では、全処理期間中窒素供給を行わなかった処理 10 とほぼ同等の果実重量であった。このことから、定植から果実肥大前期までの窒素供給が生育・収量におよぼす影響は大きく、特に果実肥大前期の窒素供給は果実重量増大のために最も重要であると判断された。

果実の糖度は、生育初期から窒素供給を行った処理区では高かったが、開花期終了時まで窒素供給を行わなかった処理 7, 8, 9 および 10 では低く、規格糖度の Brix.11 %以上に達しなかった（図 II-2-4C）。これは窒素供給の遅れによる着果の遅延と茎葉伸長の抑制が、それぞれ、登熟期間の短期化と光合成産物である糖の転流量の低下をもたらしたためと推察された。また、果実肥

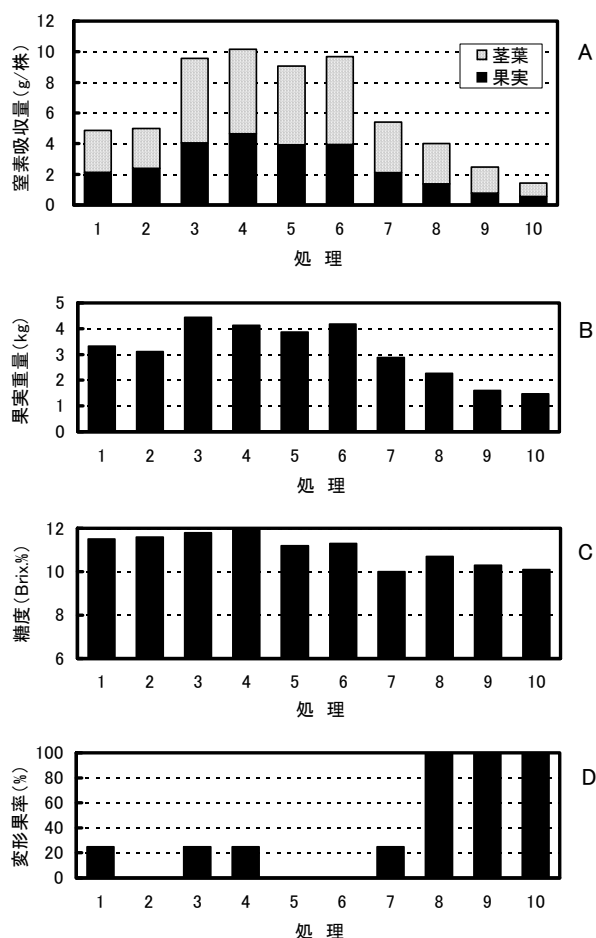


図 II-2-4 窒素供給時期の違いがスイカの果実重量、糖度および果実の変形におよぼす影響

大前期終了まで窒素供給を行わなかった処理 8, 9 および 10 では、片側側面が扁平になる変形がすべての果実で見られた (図 II-2-4D)。これは果実肥大が最も旺盛な果実肥大前期の窒素欠乏条件が正常な果実の肥大を妨げたために生じたと思われる。

これらのことから、十分な収量および品質を確保するためには、果実肥大前期までの窒素供給が重要であり、とりわけ着果に対しては開花期の供給が有効であることが示唆された。したがって、スイカの好適窒素供給時期は、定植から果実肥大前期までと判断された。圃場における既往の試験例でも、収量に対しては基肥量の影響が大きく、追肥量の増加は果実肥大に寄与しなかったとの報告がある (石川県砂丘地農業試験場, 1988)。次に、この好適窒素供給時期と前述の有機質肥料の窒素無機化特性を勘案すると、速効性の有機質肥料と緩効性の有機質肥料の肥効の違いは次のように考察された。すなわち、速効性の有機質肥料は、好適窒素供給時期である果実肥

大前期 (トンネル作型では定植後 50 ~ 60 日) までに大部分の有機態窒素が無機化されてスイカに吸収されるために、化学肥料とほぼ同等の肥効を示した。一方、緩効性の有機質肥料は、スイカの生育にとって重要な果実肥大前期までに有機態窒素の無機化が相対的に少なく、窒素供給が十分でないために、果実収量および糖度の低下をもたらすと考えられた。

## II-2-3. 窒素肥沃度の異なる土壌における有機質肥料の肥効の差異

### II-2-3-1. 材料および方法

作物への窒素吸収は、堆肥や有機質肥料などの有機物由来のものおよび化学肥料由来のものに加え、土壌由来の窒素供給を考慮する必要がある。前節 II-2-2 では、土壌の窒素肥沃度がほぼ同一の条件下で、各種有機質肥料と化学肥料の肥効を検討したが、ここでは窒素肥沃度の異なる土壌における有機質肥料の肥効の差異を検討した。すなわち、窒素肥沃度 (熱水抽出性窒素含量) の異なる圃場において、窒素無機化速度の異なる有機質肥料を主体とした窒素施肥がスイカの収量および品質に及ぼす影響を検討した。試験年次は 1995 年。供試圃場は、原環センター (灰色低地土) および北海道共和町内の現地 A 圃場 (褐色低地土)、B 圃場 (褐色低地土)、C 圃場 (褐色森林土) で、各土壌の熱水抽出性窒素含量は、それぞれ 43, 90, 69 および 20mg kg<sup>-1</sup> であった。試験処理は、無窒素区、化学肥料区、魚かす区および乾燥鶏ふん区とした。前述の II-2-2-1-c) と同様、窒素施肥量は 6g m<sup>-2</sup> とし、窒素施肥量の内、20 % を化学肥料 (尿素)、80 % (全窒素換算) を各種有機質肥料により施用した。

### II-2-3-2. 結果および考察

窒素肥沃度の異なる圃場において、図 II-2-2 で窒素無機化速度から類型化した資材の内、速効性のものから魚かす、緩効性のものから乾燥鶏ふんをそれぞれ選定し、窒素化学肥料の代替として用いて、スイカの減化学肥料栽培を行った。

#### a. 初期生育と着果数

各圃場における初期生育状況 (茎葉伸長期) を表 II-2-5 に示した。窒素肥沃度の高い A および B 圃場においては、化学肥料区およびいずれの有機質肥料系列もほぼ同様な初期生育を示した。一方、窒素肥沃度の低いセンター圃場および C 圃場の乾燥鶏ふん区では、初期生育が化学肥料区に比べてやや劣り、生育が遅延していた。すなわち、原環センターでは節数が少なく、C 圃場ではつる長および節数が少なかった。また、いずれの圃場にお

表 II-2-5 窒素無機化速度の異なる有機質肥料がスイカの初期生育に及ぼす影響

処理区	原環センター		A圃場		B圃場		C圃場	
	茎葉長 (cm)	節数 (節)	茎葉長 (cm)	節数 (節)	茎葉長 (cm)	節数 (節)	茎葉長 (cm)	節数 (節)
化学肥料	142	15.2	207	19.0	115	12.2	74	10.6
魚かす	147	15.5	202	19.5	111	12.2	76	11.1
乾燥鶏ふん	142	13.8	203	19.9	110	12.7	69	9.4
無窒素	89	11.0	179	17.5	100	12.2	55	8.5

表 II-2-6 窒素無機化速度の異なる有機質肥料がスイカの着果数に及ぼす影響

処理区	着果数 (果株 <sup>-1</sup> )			
	センター	A圃場	B圃場	C圃場
化学肥料	3.50	4.44	2.50	3.19
魚かす	3.35	4.88	2.44	3.13
乾燥鶏ふん	3.35	4.82	2.25	3.01
無窒素	1.50	3.51	2.00	1.44

いても窒素無施用区の初期生育は劣っており、この傾向は原環センターおよび C 圃場の無窒素区のものより長および節数で大きかった。これらの茎葉伸長期の生育状況は着果数にも反映していた。すなわち、生育の遅延が認められた原環センターと C 圃場における乾燥鶏ふん区および窒素無施用区の着果数は化学肥料区に比べて少なかった(表 II-2-6)。これらの原因として、窒素肥沃度の低い圃場では土壌由来の窒素供給量が少ないことに加え、乾燥鶏ふんは窒素無機化が緩慢なため乾燥鶏ふん由来の窒素供給も量も少ないことにより、スイカの生育が抑制されたためと推察される。

#### b. 果実収量および品質

各圃場における、有機質肥料の代替施肥がスイカの収量および品質に及ぼす影響について検討した。その結果、窒素肥沃度の高い A 圃場および B 圃場(褐色低地土)においては、いずれの有機質肥料系列も化学肥料区とほぼ同等の生育を示し、果実収量および糖度もほぼ同等であった(表 II-2-7)。一方、褐色森林土を置土客土した窒素肥沃度の低いセンター圃場および C 圃場では、速効性の魚かす区については化学肥料とほぼ同等の肥効を示したものの、緩効性の乾燥鶏ふん区では果実収量および糖度もともに低くなった(表 II-2-7)。

各圃場のみかけの施肥窒素利用率を見ると、いずれの圃場も化学肥料区で最も高く、次いで魚かす区、乾燥鶏ふん区の順に大きく、速効性の肥料ほど利用率が高かった。また、窒素肥沃度の低いセンター圃場と C 圃場の

施肥窒素利用率は、いずれの処理区とも窒素肥沃度の高い A および B 圃場に比べて高かった。

これらのことから、スイカに対して有機質肥料主体に施肥する場合、魚かすのような速効性の有機質肥料区では窒素が有効に利用されるために、圃場の窒素肥よく度にかかわらず、生育・収量が化学肥料とほぼ同等になると思われた。一方、乾燥鶏ふんのような緩効性窒素が多く含まれる有機質肥料では窒素利用率が低くなり、特に窒素地力の低い圃場において生育・収量の劣ることが示唆された。この理由として次のことが考えられる。すなわち、トンネル・マルチ栽培という定植直後から地温の高い条件下において、窒素肥沃度の高い圃場では土壌からの窒素供給が早い時期から行われるため、窒素無機化速度の遅い有機質肥料を施用しても生育初期に十分な窒素供給が可能であり、化学肥料区と同様な生育、収量および品質を示したと推察される。一方、窒素肥沃度の低い圃場に乾燥鶏ふんのような窒素無機化速度の遅い有機質肥料を施用すると、スイカの好適窒素供給時期に供給される土壌由来および有機質肥料由来の無機態窒素量が少なくなるため、生育の遅延や収穫果数の減少・果実肥大の抑制をもたらすことから、化学肥料区に比べ減収となり、果実糖度も低下すると考えられた。

以上の知見から、有機質肥料を主体としたスイカの減化学肥料栽培における肥培管理上の留意点を摘出し、とりまとめた(表 II-2-8)。すなわち、速効性の有機質肥料は化学肥料とほぼ同等の肥効を示すことから、圃場の

表 II-2-7 窒素肥沃度の異なる圃場におけるスイカの果実収量および糖度に及ぼす各種有機質肥料の影響

センター圃場*2					
処理区*1	果実収量*3 (kg m <sup>-2</sup> )	収穫果数 (果 株 <sup>-1</sup> )	窒素吸収量 (g m <sup>-2</sup> )	窒素利用率*4 (%)	糖度 (Brix.%)
化学肥料	4.36 (100)	1.94	4.29	52	12.0
魚かす	4.20 (100)	2.00	3.61	41	11.1
乾燥鶏ふん	3.90 (97)	1.88	3.16	33	9.9
無窒素	1.61 -	1.07	1.16	-	8.8

A圃場*2					
処理区*1	果実収量*3 (kg m <sup>-2</sup> )	収穫果数 (果 株 <sup>-1</sup> )	窒素吸収量 (g m <sup>-2</sup> )	窒素利用率*4 (%)	糖度 (Brix.%)
化学肥料	4.98 (100)	2.00	7.09	28	12.3
魚かす	5.00 (100)	1.94	7.41	33	12.3
乾燥鶏ふん	4.82 (97)	2.00	5.91	8	12.2
無窒素	4.19 -	2.00	5.44	-	11.7

B圃場*2					
処理区*1	果実収量*3 (kg m <sup>-2</sup> )	収穫果数 (果 株 <sup>-1</sup> )	窒素吸収量 (g m <sup>-2</sup> )	窒素利用率*4 (%)	糖度 (Brix.%)
化学肥料	4.35 (100)	2.00	6.40	20	12.2
魚かす	4.48 (103)	1.94	6.61	23	12.3
乾燥鶏ふん	4.72 (109)	2.00	5.88	11	11.8
無窒素	4.34 -	2.00	5.22	-	11.4

C圃場*2					
処理区*1	果実収量*3 (kg m <sup>-2</sup> )	収穫果数 (果 株 <sup>-1</sup> )	窒素吸収量 (g m <sup>-2</sup> )	窒素利用率*4 (%)	糖度 (Brix.%)
化学肥料	3.02 (100)	1.88	3.05	36	11.9
魚かす	3.01 (100)	1.94	2.40	25	11.7
乾燥鶏ふん	2.43 (97)	1.38	1.64	12	11.0
無窒素	1.26 -	1.07	0.90	-	9.1

\*1 施肥窒素6g m<sup>-2</sup>のうち、80%(全窒素換算)を処理に示した資材により代替し、残り20%は化学肥料(硫酸)を施用. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>およびK<sub>2</sub>O施用量はいずれも15g m<sup>-2</sup>

\*2 供試圃場の熱水抽出性窒素含量(mg kg<sup>-1</sup>):A圃場,90;B圃場,69;センター圃場,43;C圃場,20

\*3 ( )内は化学肥料区を100とした収量指数

\*4 みかけの施肥窒素利用率. 各圃場に併設した無窒素区の窒素吸収量から算出した

表 II-2-8 有機質肥料の窒素無機化特性とスイカに対する施用上の留意点

供試した有機質肥料	窒素無機化の速さ <sup>*1</sup>	スイカの好適窒素供給時期との適合性	窒素利用率	化学肥料との代替性	施用上の留意事項 (有機質肥料による減化学肥料栽培の場合)
魚かす					
ナタネ油かす	速	高	大	高	化学肥料の代替として施用可.
ダイズ油かす					
乾燥鶏ふん	緩	低	小	低	窒素肥沃度の低い圃場 <sup>*2</sup> では、収量および糖度低下が懸念されるため化学肥料と併用する.
発酵鶏ふん					

\*1: 供試した有機質肥料中での相対的な窒素無機化の速さ.

\*2: ここでは熱水抽出性窒素含量がおおむね60mgkg<sup>-1</sup>以下の圃場とする.

窒素肥沃度を問わず窒素化学肥料の代替として使用可能である。一方、緩効性の有機質肥料は、窒素肥沃度の低い圃場では収量および品質低下が懸念されるため、主体施用は行わず化学肥料との併用が望ましい。なお、過剰な窒素施肥条件では、着果不良および果実糖度の低下を

引き起こす事例（北海道原子力環境センター，1990）があるので、有機質肥料でも過剰施用とならないよう留意する必要がある。有機質肥料は、原料および加工方法により窒素無機化特性が異なるため、目的に応じて速効性・緩効性の性質を生かした使い分けが望ましい。



## 第三章 野菜類の調理・加工適性向上のための評価法の確立

本章では、調理・加工に影響を及ぼす要因の解析や客観的な品質評価法の開発について検討した。それらの知見や手法は、野菜生産場面へのフィードバックにより高品質な新品種の開発および品質向上のための栽培法確立、流通・加工場面では品質の異なるものをその用途に応じて適切に仕分けて利用することによって高品質化が図られるとともに、非破壊品質評価法による選別技術開発などへの活用が期待される。ここでは、ジャガイモのデンプン価と調理・加工適性の関係、ダイコンおよびキャベツのテクスチャー評価法と調理・加工による変動について検討した。

### Ⅲ-1. ジャガイモのデンプン価が調理・加工特性に及ぼす影響

ジャガイモのデンプン価は、水煮後の硬さや煮くずれ等の調理特性に影響を及ぼす重要な項目である（古館・目黒，1997；小原ら，1997）。このため、ジャガイモのデンプン価と水煮後の物性の関係については、機器測定法や外観観察による解析がなされてきた（古館・目黒，1997；小原ら，1997）。しかしながら、調理法別にデンプン価と食味の関係について検討した報告はなく、調理・加工場面では、各種調理法別のデンプン価と調理特性の関係についての知見が必要とされる。そこで、本報告は、デンプン価の違いが調理特性に及ぼす影響について調理方法別に検討した。

#### Ⅲ-1-1. 材料および方法

##### a. 供試試料とデンプン価測定方法

ジャガイモ試料は、中央農業試験場圃場からの採取および市販品の購入により入手した「男爵薯」を用いた。また、調理試験に供したジャガイモは、調理用として流通量の最も多いMサイズ（一個重70～120g）で同一生産者のロットを用いた。

個々の塊茎を洗浄・乾燥後、空中重と水中重を測定して比重を求めた後（Ⅰ）、式（Ⅱ）により算出した値をデンプン価とした（永田，1956）。

$$r = D / (D - W) \quad (Ⅰ)$$

$$S = (r - 1.05) \times 214.5 + 7.5 \quad (Ⅱ)$$

ただし、式中の符号は r：比重，D：空中重（g），W：水中重（g），S：デンプン価（%）を示す。

##### b. 調理・加工方法

調理試験は、個々の塊茎ごとにデンプン価を測定した後、「12%」（12.0%以上 13.0%未満）、「14%」（14.0%以上 15.0%未満）、「16%」（16.0%以上 17.0%未満）の3区分の試料を集め、以下のとおり実施した。

ただし、ポテトサラダは「11%」から「15%」まで1%ごとに5区分した試料を用いた。

粉ふきいもは、剥皮した塊茎を1片20gに切り揃えて計1,000gを鍋に入れ、1,500mlの水を加えた。ガスレンジで沸騰後7分間加熱した後、ゆで汁を捨て、再度火にかけて鍋を数回振り動かし、粉をふかせた。ふかしいもは、剥皮後の塊茎を上記と同様に切り揃えた後、蒸し器で17分間蒸した。電子レンジ加熱調理は、皮付きの塊茎を皿にのせてラップをし（1回あたり7個ずつ）、電子レンジ（出力600W）で10分間加熱した。フライドポテトは、剥皮した塊茎を1cm角の拍子切りにし、水に3分間晒し、水気を切った後、サラダ油を使用して、180℃で6分間揚げた。肉じゃがは、剥皮した塊茎を1片30gに切り揃え（計1,200g）、たまねぎおよび豚肉とともに炒め、水（800ml）および砂糖を加え、ガスレンジで沸騰後10分間加熱し、醤油を加えた後さらに8分間加熱した。カレーは、剥皮した塊茎を1片20gに切り揃え（計800g）、たまねぎ、にんじんおよび豚肉とともに炒め、水（800ml）を加え15分間加熱した。市販のカレールーを加え、混合した。ポテトサラダは、ポテトサラダメーカーに委託し、通常の「ロングライフ製品」製造時の方法で加工した。

##### c. 官能評価

官能評価は、調製方法別に3回に分けて実施した。天使大学学生（18～20歳の女性）をパネルとし、粉ふきいも、ふかしいも、電子レンジ加熱は各40名、フライドポテト、肉じゃが、カレーは各39名およびポテトサラダは35名で行った。なお、ポテトサラダについてはメーカーパネル9名（20～50歳代の男女）による官能評価も合わせて実施した。評価項目は、「粉ふき」、「硬さ」、「ほくほく感」、「煮くずれ」および「総合評価」とした。各項目について、官能により7段階で評価した。すなわち、「粉ふき」は非常に少ない1～普通4～非常に多い7、「硬さ」は非常にやわらかい1～普通4～非常に硬い7、「ほくほく感」は非常に乏しい1～普通4～非常に富む7、「煮くずれ」は非常に少ない1～普通4～非常に多い7、「総合評価」は非常に好ましくない1～普通4～非常に好ましい7とした。得られた評価指数は、Fisherの多重比較法により試料間における有意差検定を行った。

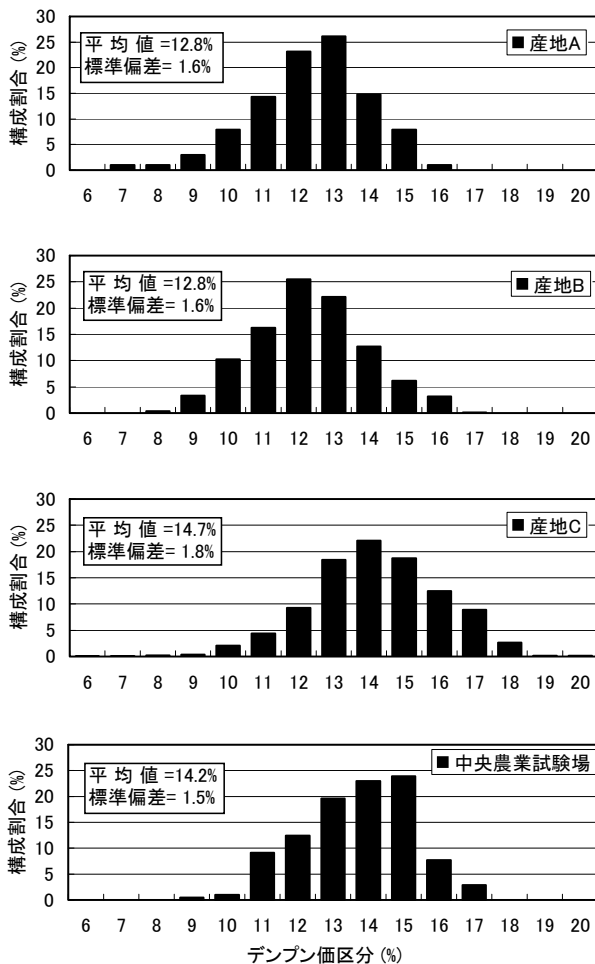
##### d. 遊離アミノ酸含量の測定

デンプン価「11%」から「18%」まで 1%ごとに仕分けした塊茎(各 4 反復)をフードプロセッサーでみじん切りにして 10 g を秤量し、これに 80%エタノールを加え、ホモジナイザーで 30 秒間均質化した後、100 ml に定容した。室温、暗黒下で 18 時間放置後、ろ過して抽出液を得た。抽出液を濃縮乾固後、0.02 mol l<sup>-1</sup> 塩酸に溶解し、アミノ酸アナライザー (HITACHI L-8500) を用いてアミノ酸含量を測定した。

### Ⅲ-1-2. 結果および考察

#### a. 塊茎個々のデンプン価分布

ジャガイモのデンプン価は、通常、塊茎数十個単位で測定するため、個々の塊茎のデンプン価ではなく、各ロットの平均値として示される。本試験では、個々の塊茎



図Ⅲ-1-1 産地別のジャガイモのデンプン価区分

産地A: 1999年産(試料数 203個)、産地B: 1999年産(試料数 597個) 産地C: 2000年産(試料数 1768個)、中央農業試験場: 1999年産(試料数 209個). 供試試料は、全てMサイズ

のデンプン価変動を明らかにするため、塊茎一個ごとにデンプン価を測定した。その結果、市販(産地 A, B, C) および中央農業試験場慣行栽培のジャガイモのデンプン価は、それぞれ、平均値±標準偏差が 12.8%±1.6%, 12.8%±1.6%, 14.7%±1.8%および 14.2%±1.5%, 最低値が 7.8%, 8.7%, 6.4%および 9.2%, 最高値が 16.5%, 17.0%, 20.0%および 17.8%であった(図Ⅲ-1-1)。

また、株内および株間での塊茎個々のデンプン価の変動を明らかにするため、同一圃場内で 12 株のデンプン価を測定した。その結果、全株の平均デンプン価は 14.3%, 各株内の平均デンプン価は 13.3 ~ 15.4%であったが、塊茎個々では最低 8.5%, 最高 17.4%と大きなばらつきが認められた(図Ⅲ-1-2)。

デンプン価は気象や栽培条件により変動することが知られているが(岡, 1969: 岡, 1977: 谷口健雄, 1990), 上記のように品種, 気象および栽培条件が同一の場合でも、塊茎個々のデンプン価は広範囲に分布することが明らかとなった。これは、塊茎の肥大やデンプンの蓄積速度が個々の塊茎で異なることによると思われる。このように、デンプン価の異なる塊茎が混在して流通しているために、デンプン価が極端に低いあるいは高い塊茎を使用した場合、「煮え難い」, 「煮くずれしすぎる」等のクレームの発生をもたらすことが示唆された。そこで、次に、各調理法別にデンプン価と食味構成要素との関係について検討した。

#### b. デンプン価が調理特性および食味に及ぼす影響

各種の調理方法ごとに、塊茎のデンプン価の違いが調理特性に及ぼす影響を評点法で検討した(表Ⅲ-1-1, 表Ⅲ-1-2)。一般的な「男爵薯」の平均デンプン価が 14%前後であることから、供試試料は標準的なデンプン価として「14%」、低デンプン価として「12%」、高デンプン価として「16%」の 3 区分とした。

粉ふきいもでは、粉ふきの評価指数は「12%」が 2.4 となり、「普通」である 4.0 を大きく下回った(表Ⅲ-1-1)。これに対し、「14%」および「16%」のデンプン価では、それぞれ 4.6 および 5.5 と高い評価指数を示し、いずれの試料間にも有意な差が認められた。また、ほくほく感の項目では「12%」, 「14%」および「16%」のデンプン価でそれぞれ評価指数 3.3, 4.0 および 4.5 となり、「12%」が有意に低い傾向が認められた。総合評価は、「12%」が 3.9 とやや低い評価指数となり、「16%」では 4.4 と高かった。したがって、粉ふきおよびほくほく感は、デンプン価が高いものほど評価指数も高く、これが総合評価に反映されたものと考えられる。これらのことから、粉ふきいもにはデンプン価 14%以

												S (8)
	S (10)					S (11)						S (13)
	S (13)					S (14)						S (16)
	S (15)					S (14)						M (14)
調査	M (15)		S (10)			S (15)		S (15)	S (11)			M (14)
試料	L (15)		S (16)	S (10)		S (17)		M (13)	S (12)			M (15)
	L (15)	S (13)	M (11)	S (17)	M (15)	M (15)		M (16)	M (11)		L (13)	L (11)
	L (15)	S (15)	L (15)	M (13)	L (14)	M (16)	M (12)	M (16)	M (12)	M (14)	L (14)	L (12)
	L (15)	M (14)	2L(14)	L (13)	L (14)	L (16)	M (13)	L (15)	L (14)	L (13)	L (15)	L (15)
	L (16)	M (15)	2L(14)	L (14)	L (15)	2L(15)	L (12)	L (15)	3L(13)	L (13)	L (15)	L (16)
	L (16)	L (15)	2L(15)	2L(15)	3L(14)	2L(15)	3L(14)	L (15)	3L(13)	L (15)	3L(14)	3L(14)
株番号	株1	株2	株3	株4	株5	株6	株7	株8	株9	株10	株11	株12
平均												
デンプン価 (%)	15.3	15.0	14.2	14.1	14.5	15.4	13.5	15.2	13.3	14.2	14.7	14.1

図Ⅲ-1-2 ジャガイモの株内および株間のデンプン価分布

供試試料は、2000年産の中央農業試験場で栽培した「男爵薯」。各株の上の記号および数値は重量規格およびデンプン価区分(%、小数点以下切り捨て)。重量規格は、S:30g以上70g未満、M:70g以上120g未満、L:120g以上190g未満、2L:190g以上260g未満、3L:260g以上とした。

表Ⅲ-1-1 デンプン価の違いが食味構成要素に及ぼす影響

調理法	評価項目	デンプン価 (%)		
		12	14	16
粉ふきいも	粉ふき	2.4 a	4.6 b	5.5 c
	硬さ	3.9 ab	4.5 b	3.7 a
	ほくほく感	3.3 a	4.0 b	4.5 b
	総合評価	3.9	4.0	4.4
ふかしいも	硬さ	4.3 b	3.4 a	3.4 a
	ほくほく感	3.9 a	4.3 ab	4.8 b
	総合評価	3.9	4.1	4.4
電子レンジ	硬さ	3.0 a	3.6 b	3.4 b
	ほくほく感	3.9 a	4.6 b	4.8 b
	総合評価	4.4	4.4	4.6
フライドポテト	硬さ	4.8 c	3.7 b	3.0 a
	ほくほく感	4.1 a	4.1 a	5.0 b
	総合評価	4.1 a	4.0 a	5.2 b
肉じゃが	煮くずれ	2.4 a	4.6 b	5.4 c
	硬さ	4.2 c	3.0 b	1.9 a
	ほくほく感	4.3 b	4.2 ab	3.5 a
	総合評価	4.6 ab	4.9 b	4.3 a
カレー	煮くずれ	2.2 a	2.4 a	4.5 b
	硬さ	4.4 b	4.9 b	2.5 a
	ほくほく感	4.1 ab	3.7 a	4.4 b
	総合評価	4.8	4.3	4.3

各項目のアルファベット異文字間に5%水準で有意差あり。  
各項目の評価は、以下のとおり7段階の評点法(評価指数:1~7)で実施した。

- 粉ふき(非常に少ない1~普通4~非常に多い7)
- 硬さ(非常に軟らかい1~普通4~非常に硬い7)
- ほくほく感(非常に乏しい1~普通4~非常に富む7)
- 煮くずれ(非常に少ない1~普通4~非常に多い7)
- 総合評価(非常に好ましくない1~普通4~非常に好ましい7)

表Ⅲ-1-2 総合評価時に重視した項目および項目別嗜好性評価

調理法	重視項目 <sup>1)</sup>	割合(%)	項目別嗜好性評価	割合(%)
粉ふきいも	硬さ	70	粉ふき多いものが良い	75
	ほくほく感	55	粉ふき少ないものが良い	25
	粉ふき度	53		
	甘味	20	軟らかめのものが良い	70
	煮くずれ	0	硬めのものが良い	30
	色	0		
ふかしいも	硬さ	80	ほくほく感のあるものが良い	95
	ほくほく感	63	ほくほく感のないものが良い	5
	甘味	35		
	色	0	軟らかめのものが良い	65
	香り	0	硬めのものが良い	35
	その他	0	ほくほく感のあるものが良い	95
電子レンジ加熱	ほくほく感	73	ほくほく感のないものが良い	3
	硬さ	65	未記入	2
	甘味	33		
	香り	5	軟らかめのものが良い	75
	その他	5	硬めのものが良い	25
	色	3	ほくほく感のあるものが良い	90
肉じゃが	形状	3	ほくほく感のないものが良い	10
	硬さ	74		
	ほくほく感	54	煮くずれ少ない方が良い	74
	煮くずれ	21	煮くずれ多い方が良い	23
	甘味	21	未記入	3
	色	3	ほくほく感のあるものが良い	90
カレー	香り	3	ほくほく感のないものが良い	8
	その他	3	未記入	3
	硬さ	85		
	ほくほく感	59	煮くずれ少ない方が良い	67
	甘味	18	煮くずれ多い方が良い	31
	煮くずれ	15	未記入	3
フライドポテト	香り	5	ほくほく感のあるものが良い	79
	色	3	ほくほく感のないものが良い	21
	その他	3		
	ほくほく感	79	ほくほく感のあるものが良い	90
	硬さ	64	ほくほく感のないものが良い	8
	甘味	18	未記入	3
フライドポテト	香り	8		
	形くずれ	0		
	色	0		
	その他	0		

1) 重視項目は、2項目まで複数回答あり

上のジャガイモが適していると判断された（図Ⅲ-1-3）。なお、長期低温貯蔵によりジャガイモの糖含量は上昇するが（小餅・佐藤，1981；邨田・石原，1987），本試験では常温保管試料を供試しており，糖含量の上昇が食味に及ぼす影響は小さかったと考えられる。

ふかしいもの場合，硬さの評価指数は「12%」が 4.3 となり，「14%」および「16%」に比べ有意に硬い評価となった（表Ⅲ-1-1）。また，ほくほく感の評価指数は，「12%」，「14%」および「16%」のデンプン価でそれぞれ 3.9，4.3 および 4.8 であり，「12%」と「16%」の間には有意な差が認められた。総合評価は，デンプン価「12%」が 3.9 となり，「普通」の 4.0 を下回る低い評価指数となった。ふかしいものは粉ふきいもと同様に，デンプン価が高いものほど，やわらかく，ほくほく感に

富み，これが総合評価にも反映されたと考えられた。このため，ふかしいもにはデンプン価 14%以上のジャガイモが適すると判断された。

次に，電子レンジによる加熱調理について見ると，硬さの項目はデンプン価「12%」が，「14%」および「16%」に比較して，有意にやわらかかった（表Ⅲ-1-1）。通常，生の塊茎はデンプン価の高いものほど硬いが（佐藤ら，1991），水煮あるいは蒸し加熱により吸水・加熱すると細胞内デンプンが膨潤し，細胞の球形化，細胞接着面積減少に伴い結着力が低下し（遠藤ら，1998，1999），加熱後はデンプン価の高いものがやわらかくなる（古館・目黒，1997；佐藤ら，1991）。これに対して，電子レンジ加熱の場合，十分量の水分供給がなく細胞内デンプンの膨潤度が低くなるために細胞間結着力の低下



図Ⅲ-1-3 デンプン価の異なるジャガイモによる粉ふきいもおよびカレー調理

が抑制され、生の塊茎と同様にデンプン価の高い塊茎が硬い評価になったと思われた。ほくほく感の評価指数は「12%」、「14%」および「16%」のデンプン価でそれぞれ 3.9, 4.6 および 4.8 であった。ほくほく感は粉ふきいもおよびふかしいもと同様に、デンプン価が高くなるにしたがってほくほく感に富むことが認められた。総合評価はいずれの試料も「普通」である評価指数 4.0 を上回り、いずれも好ましい評価となった。このうち「12%」のデンプン価では、ほくほく感がやや乏しい評価となったが、他試料に比べてやわらかいと評価されたために、総合評価は「普通」の 4.0 を上回ったものと推察された。

フライドポテト調理の場合、硬さ評価指数は「12%」、「14%」および「16%」でそれぞれ 4.8, 3.7 および 3.0 となり、高デンプン価の塊茎ほど有意にやわらかい評価となった(表Ⅲ-1-1)。また、ほくほく感は「16%」のものでほくほく感に富む評価となった。総合評価は、デンプン価「16%」が有意に好ましいことが示された。これまで、フライドポテト加工業者は、高デンプン価の塊茎が好適であると評価しており、本試験でも同様の結果を示したことから、「16%」の塊茎が加工適性に優ると判断された。

煮物調理(肉じゃがおよびカレー)では、食味評価に影響を及ぼすと思われる煮くずれ程度を評価項目に加え、官能評価を実施した。肉じゃが調理の場合、煮くずれ評価指数は「12%」、「14%」および「16%」のデンプン

価でそれぞれ 2.4, 4.6 および 5.4 となり、デンプン価の高い塊茎ほど有意に煮くずれが多かった(表Ⅲ-1-1)。また、硬さの評価指数は、「12%」のデンプン価で 4.2 と「普通」に近く、デンプン価が高いものほど有意にやわらかい評価となり、とりわけ「16%」のデンプン価では 1.9 と顕著に低い評価指数を示した。煮くずれは品種間差などからそのメカニズムが検討され、塊茎個体内のデンプン分布状態、細胞の大きさ、細胞間隙の多少および細胞壁成分が関与することが明らかとなっている(遠藤ら, 1998, 1999)。また、デンプン価と煮くずれおよび硬さの関係についても検討されている(古館・目黒, 1997; 小原ら, 1997; 佐藤ら, 1991)。すなわち、煮くずれは加熱・吸水によるデンプンの膨潤、細胞の球形化、細胞同士の接着面積の減少による結着力の低下、各細胞の分離という機作で生じる(遠藤ら, 1998, 1999)。このため、デンプン価の低いものに比べて、デンプン価が高いものでは細胞の分離がより多く、短時間で進むために、煮くずれ評価指数が高かったと考えられる。ほくほく感の評価指数は「12%」、「14%」および「16%」のデンプン価でそれぞれ 4.3, 4.2 および 3.5 となり、「16%」でほくほく感が乏しく、他の調理法とは異なる傾向を示した。すなわち、煮くずれしやすい品種である「男爵薯」を用いた場合、高デンプン価の「16%」では塊茎が小片に煮溶けてしまうことにより、咀嚼時の噛み応えが少なく、ほくほく感を感知しにくくなったことによると推察された。総合評価は、標準的なデンプン価の「14%」が最も好ましく感じられ、高デンプン価の「16%」が最も低かった。このことは、適度な煮くずれが好ましいとするパネルのコメントが複数あったことから、適度な煮くずれとほくほく感の高さが総合評価に反映されたと思われる。

カレー調理の場合、煮くずれの評価指数は「12%」、「14%」および「16%」でそれぞれ 2.2, 2.4 および 4.5 となった(表Ⅲ-1-1)。また、硬さの評価指数は「12%」、「14%」および「16%」のデンプン価でそれぞれ 4.4, 4.9 および 2.5 となり、ほくほく感ではそれぞれ 4.1, 3.7 および 4.4 となった。このように「16%」の塊茎は他試料に比べて、有意に煮くずれが多く、やわらかく、ほくほく感に富む評価となった。総合評価は、「12%」のもの評価が高い傾向にあった。これは、煮くずれが少なく、見た目の色が良いことが好ましいとするパネルのコメントが多かったためと判断される(図Ⅲ-1-3)。

各調理法において、官能による総合評価時に重視した項目をパネルごとに調査した。その結果、いずれの調理

法においても硬さおよびほくほく感といった食感が最も重視され、色や香りは総合評価する上で重視されなかった（表Ⅲ-1-2）。また、重視項目である硬さおよびほくほく感では、硬いものよりも軟らかいものが、また、ほくほく感の少ないものよりもほくほく感に富むものの方が好まれる傾向であった。

c. デンプン価がポテトサラダの加工特性および食味に及ぼす影響

ポテトサラダについては、ポテトサラダメーカーへ加工適性に関するアンケート調査を行うとともに、北海道内のポテトサラダメーカーにデンプン価「11%」から「15%」まで1%ごとに5区分した試料を持ち込み、加工委託して供試試料を得た。その後、学生パネルに加えメーカーの製造担当者による官能評価を実施した。

加工適性に関するアンケート調査の結果、ポテトサラダの製造工程では、いずれのメーカーも「デンプン価」を重視すると回答し、次いで「剥皮しやすさ」は5社中4社が、「大きさ」は5社中3社が重視する項目にあげた（表Ⅲ-1-3）。また、いずれのメーカーも製品品質に影響を及ぼすことから、原料ジャガイモのデンプン価仕分けの必要性を指摘した。その理由は、ジャガイモを蒸し上げた後の加水時に、デンプン価の違いにより吸水特性が異なるため加水量の調節が個々のロットで異なり、作業が繁雑になるとともに、デンプン価の変動が大きい場合、マヨネーズ添加後に製品品質にばらつきが生じるためである。製造工程でデンプン価が適正範囲外のものにより生じる問題点として、低デンプン価では、ほくほく感に欠ける、火が通りにくくゴリいもとなる、水っぽくなる等で、高デンプン価では、加熱時にくずれて固形感がなくなる、ざらつきを感じてのどごしが良くない、マヨネーズの水分が吸収され乳化状態が保持できずにマヨネーズが分離する等が指摘された（表Ⅲ-1-4）。こうした問題点の改善のためには、今後、産地からの出荷時やメーカーによる加工原料受け入れ時のデンプン価による仕分け技術の開発が重要であると考えられる。

学生パネルによる官能評価の結果、いずれの項目に対してもデンプン価間に有意な差が認められなかった（表Ⅲ-1-5）。一方、メーカーパネルによる評価は、高デンプン価（「14%」、「15%」）の塊茎が、かたく、ほくほく感に富み、総合評価の評価指数が高かったのに対して、低デンプン価（「11%」、「12%」）のものは総合評価の評価指数が3.4および3.9と「普通」の4.0を下回りやや好ましくない評価となった。この両パネル間で生じた評価の違いは、メーカーパネルの方が日頃からポテトサラダ製品に接し、学生パネルと比べて試料間の差

表Ⅲ-1-3 ポテトサラダの製造工程および製品の食味評価時に重視される項目

	大きさ	7	9	13		
製造工程	形状					
	デンプン価	28	82	65	33	72
	形のくずれ					
	剥皮しやすさ	65		22	33	12
	色				33	17
製品食味	風味		9			
	やわらかさ	7	33			
	ほくほく感	67	33	11	26	58
	香り		33	57		
	甘味				10	28
	うま味	26		32	64	14
	ねばり					
デンプン価仕分けは必要か		必要	必要	必要	必要	必要
デンプン価が影響を及ぼす項目		製品品質	加工適性 製品品質	加工適性 製品品質	製品品質	製品品質
望ましいデンプン価	13~16%	14~16%	14~16%	12~14%	14~16%	

表中数値はAHP(階層分析法)による評価項目の一对比較時の重要度指数(%)  
上位3項目を選択後、一对比較(1~9の評点法)

表Ⅲ-1-4 ポテトサラダ加工用いもが適正デンプン価でない場合の問題点

区分	製造工程および製品品質の点で危惧される問題点
デンプン価低	ほくほく感に欠け、味も良くない ゴリいもとなり食感が硬くなる 水っぽいサラダの感覚になる 加工調整が必要 おいしくない
	いもがくずれて固形感がなくなる。ざらつきを感じて、のどごしが悪い マヨネーズが分離する 甘いサラダができ、くどい感じ 甘すぎる

表Ⅲ-1-5 デンプン価の違いがポテトサラダの食味構成要素に及ぼす影響

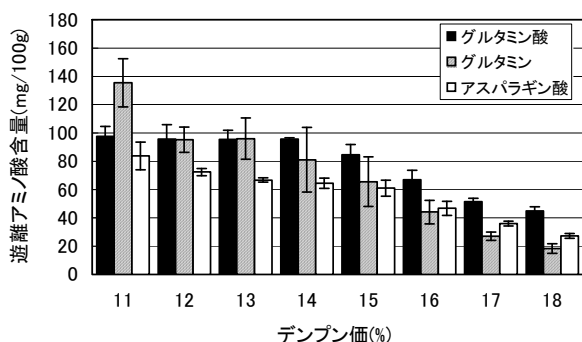
パネル	評価項目	デンプン価 (%)				
		11	12	13	14	15
学生パネル	硬さ	3.8	—	4.3	—	4.1
	ほくほく感	3.7	—	4.0	—	3.7
	総合評価	4.4	—	4.5	—	4.4
メーカーパネル	硬さ	3.8 a	4.7 ab	4.4 a	5.0 b	4.9 b
	ほくほく感	3.0 a	3.9 b	3.8 b	4.4 b	4.4 b
	総合評価	3.4 a	3.9 ab	4.1 b	4.1 b	4.0 b

各項目のアルファベット異文字間に5%水準で有意差あり  
各項目の評価は、以下の7段階の評点法(評価指数:1~7)で実施した  
硬さ(非常に軟らかい1~普通4~非常に硬い7)  
ほくほく感(非常に乏しい1~普通4~非常に富む7)  
総合評価(非常に好ましくない1~普通4~非常に好ましい7)

を感知しやすかったためと思われる。

#### d. デンプン価と遊離アミノ酸含量の関係

ジャガイモはうま味を呈する遊離アミノ酸を豊富に含み、その煮汁はスープストックとしても利用される。この遊離アミノ酸含量は、品種および栽培法の違いで変動することが明らかとなっているが（古館・目黒，2001），デンプン価との関係について検討された例はない。そこで、本試験では、うま味を呈するアミノ酸であるグルタミン酸、グルタミンおよびアスパラギン酸の含量を測定し、デンプン価との関係を検討した。その結果、デンプン価が高い塊茎ほど遊離アミノ酸含量は低くなる傾向にあり、とりわけ最も強いうま味を呈するグルタミン酸含量は、デンプン価 15%以上での減少が顕著であった（図Ⅲ-1-4）。従来から、同一品種でうま味を比較した場合、低デンプン価の塊茎はうま味に富み、高デンプン価の塊茎はうま味に乏しいことが経験的に言われており、本試験はこのことを遊離アミノ酸含量から裏付ける結果となった。前述の肉じゃがやカレーなど、煮物調理の場面ではうま味の重要性も高く、この場合、比較的デンプン価の低い塊茎が好適と考えられる。



図Ⅲ-1-4 ジャガイモのデンプン価と遊離アミノ酸含量の関係

図中のエラーバーは標準偏差を示す

以上、ジャガイモの調理・加工適性試験を総括し、デンプン価に基づく調理・加工適性評価（表Ⅲ-1-6）および食味評価（表Ⅲ-1-7）について総括した。調理適性評価は、熟練した調理担当者（天使大学栄養学科教官および同学科卒業の栄養士）の留意点を総合してまとめた。デンプン価の違いにより調理適性に特に問題がなく、顕著な差がないものについては、いずれも○「適当」の区分とした（表Ⅲ-1-6）。また、粉ふきが悪い、または煮

くずれしすぎると評価され、調理時間、加熱方法について留意すべきものについては△「調理時に注意が必要」とした。調理が容易で完成品に顕著に優れた点が観察されたものについては◎「優る」とした。表Ⅲ-1-7には、ジャガイモのデンプン価区分に基づく食味評価を示した。食味評価における◎「優る」、○「適当」、△「やや劣る」の評価は、総合評価の平均値に基づいて区分した。すなわち、◎は総合評価の平均値が全評点分布の上位20%の範囲となった場合、△は総合評価の平均値が全評点分布の下位20%の範囲となり、かつ評点「4」未満の場合、○は上記の◎および△以外の場合とした。ここで、上位20%および下位20%点は、正規分布N(0, 1)の20%点(片側)を基に算出した。様々な要因が加わる「総合評価」では有意差のない場合が多かったが、食感に関わる評価項目には一定の傾向が見られた。すなわち、「粉ふきいも」および「ふかしいも」では、軟らかくほくほくした食感が重視されるため、デンプン価の高いもので評価が高く、デンプン価の低いものではやや劣る評価となったと考えられる。また、「肉じゃが」では適度な硬さと煮くずれの少ないことが、「カレー」では煮くずれの少ないことが重視され、デンプン価の低いものの評価が高くなったと思われる。さらに、「フライドポテト」では内部の軟らかさとほくほく感が重要となることから、デンプン価の高いもので評価が高まったと考えられる。「電子レンジ加熱」および「ポテトサラダ」の総合評価は、本試験で供試したデンプン価区分では差が認められなかった。

以上のように、ジャガイモは生産段階でデンプン価にばらつきが生ずること、およびデンプン価によって調理特性が異なることが明らかとなった。一般に、デンプン価の高い塊茎はほくほく感に富み、好まれることが多い。本試験においても、粉ふきいも、ふかしいも、フライドポテトの調理法では高デンプン価（デンプン価16%）の塊茎の評価が高かった。しかしながら、煮物調理では、煮くずれの少なさから低デンプン価（デンプン価12%）の塊茎の評価が高いことも判明した。さらに、うま味を呈する遊離アミノ酸は低デンプン価の塊茎に多く含まれることが明らかとなった。このように、調理法によって好適な塊茎のデンプン価が異なるため、それぞれの調理法に適する材料を選択するための方策の一つとして、デンプン価で仕分けすることが重要と考えられる。

現在、ジャガイモ産地では、塊茎を大きさや形状で選別して出荷しているが、デンプン価による選別は行われていない。このため、加工メーカーの中には、独自に塩水等による比重選別法を行って使用している場合もある。

表Ⅲ-1-6 デンプン価により異なる調理・加工適性評価

調理法	デンプン価(%) 区分			備 考
	11・12	13・14	15・16	
粉ふきいも	△	○	○	「11・12」は火がとおりにくく、粉がふかない
ふかしいも	○	○	○	大きな差はない
電子レンジ	○	○	○	大きな差はない
肉じゃが	○	○	△	「15・16」は煮くずれが多い
カレー	◎	○	△	「11・12」は煮くずれが少ない、「15・16」は煮くずれが多い
フライドポテト	○	○	○	大きな差はない
ポテトサラダ	△	○	○	デンプン価に応じた加水条件が必要

◎:優る, ○:適当, △:調理時に注意が必要

表Ⅲ-1-7 デンプン価により異なる食味評価

調理法	デンプン価(%) 区分			備 考
	11・12	13・14	15・16	
粉ふきいも	△	○	◎	粉ふき・ほくほく感が重要。「11・12」はほくほく感に欠ける
ふかしいも	△	○	◎	ほくほく感が重要。「11・12」はほくほく感に欠ける
電子レンジ	○	○	○	ほくほく感が重要。「15・16」はほくほく感に富む
肉じゃが	○	◎	○	適度な硬さと煮くずれの少ないことが重要
カレー	◎	○	○	煮くずれの少ないことが重要
フライドポテト	○	○	◎	内部のほくほく感が重要
ポテトサラダ	○	○	○	メーカーパネルでは「11・12」はやや劣る傾向

◎:優る, ○:適当, △:やや劣る

◎は総合評価の平均値が評点全体の上位20%以上となった場合とした

△は総合評価の平均値が評点全体の下位20%以下となり、かつ「4」未満の場合とした

○は◎および△以外の場合とした

総合評価の評点(1:非常にまずい, 4:普通, 7:非常においしい)

今後、ジャガイモの生産現場においても、極端な低デンプン価塊茎の除去および調理・加工用途別に最適な塊茎の出荷などの体制整備による総合的品質向上対策が必要となろう。こうしたシステムの構築により、消費者および加工メーカー等からのニーズへの対応、産地評価向上

等の効果が期待される。それを実現可能にする有力な技術として、第Ⅳ章-1 では、光学的手法を用いて非破壊で個々の塊茎を計測し、デンプン価により選別する方法の開発について検討した。



### Ⅲ-2. ダイコンのテクスチャー評価法と加工による変動

ダイコンの食味総合評価に対しては、味とテクスチャーが密接に関係していることが明らかにされている（平本・松本，1992）．本研究では、特性の異なるいくつかの品種を用い、生および調理加工（浅漬け、煮物）したダイコンのテクスチャー（硬さ）を対象に、物性測定機器による官能評価と整合性の高い客観的評価法を検討した．また、浅漬けおよび煮熟に伴う物性変動の品種間差異および生および調理加工したダイコンの硬さとペクチン含有率の関係および辛味成分の変化についても検討した．

#### Ⅲ-2-1. ダイコンのテクスチャー測定条件の検討

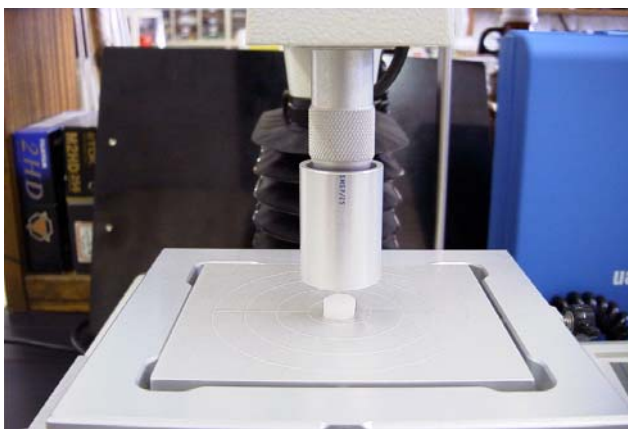
##### Ⅲ-2-1-1. 材料および方法

###### a. 供試品種と物性測定機器

供試品種は、1999年に北海道立十勝農業試験場（十勝農試）圃場で栽培されたダイコン標準品種「健志総太り」および「春北海」を用いた．物性測定機器は、Stable Micro Systems（SMS）社製テクスチャーアナライザー TA-XT2i を用いた（図Ⅲ-2-1）．テクスチャーアナライザーのアームに各種のプローブを装着し、試料を圧縮、破断、貫入させたときの荷重を連続的（200point s<sup>-1</sup>）に測定した．

###### b. プローブ種類の検討

測定用試料は、根部（根先端部の直径 2cm 以下の部位を切除した後の可食部）を長さで 6 等分し、その各部位から調製した直径 10mm × 厚さ 5mm のディスクまたは厚さ 3cm の輪切り切片とした．それぞれ 3 反復（1 処理につき 2 個体供試、計 36 反復）で測定した．プロー



図Ⅲ-2-1 テクスチャーアナライザーTA-XT2i によるディスク試料のテクスチャー測定

ブの種類と測定方法は、以下の 5 処理とした．1) 「直径 25mm 円筒型」プローブでは、ディスク試料を圧縮率 80%まで圧縮し、試料破断時の荷重を測定した．2) 「直径 2mm 円筒型」プローブでは、厚さ 3cm 輪切り切片試料の断面の中心部と表皮の中間点を圧縮率 80%まで貫入させ、最大荷重を測定した．3) 「ボルトケビッチバイトジョー」プローブでは、2) と同様の位置を深さ 1cm まで貫入させ、最大荷重を測定した．この時、プローブの長辺は試料中心から表皮方向に向けて設定した．4) 「先端針状（基部直径 2mm）型」プローブおよび 5) 「先端球状（球直径 1/4inch）型」プローブでは、2) と同様の方法で貫入時の最大荷重を測定した．プローブによる圧縮速度は、1) の方法では毎秒 2mm および 2) ～ 5) の方法では毎秒 5mm に設定した．

###### c. 試料圧縮率の検討

供試プローブは、直径 25mm 円筒型プローブを用いた．テクスチャーアナライザーは、プローブがディスク試料に触れた瞬間（プローブに 10g の荷重を感知した時点）を圧縮開始点として感知し、圧縮開始時の試料高を自動的に算出し、任意の圧縮率に設定できる機能を持っている．この機能を用いて、試料の圧縮率を 30%、50%、70%および 90%に設定した．各圧縮率の条件で試料圧縮時の荷重を測定し、テクスチャー測定曲線を求めた．

###### d. テクスチャーの部位間差異の検討

まず、ダイコンの上下（茎葉基部から根先端部）方向の部位間テクスチャーの差異を検討した．すなわち、茎葉基部から厚さ 5cm 間隔で輪切りにして各部位からディスクを調製した後、直径 25mm 円筒型プローブを用いてディスクを圧縮し、破断時の荷重を測定した．次に、中心～表皮方向の部位間テクスチャーの差異を検討した．すなわち、根部を上部、中部、下部に 3 等分し、このうち中部の輪切り切片から、輪切りの中心部～表皮に向かって 1cm 間隔（中心部、中心から 1cm、2cm、3cm の 4 部位）でディスクを調製した．これらを直径 25mm 円筒型プローブを用いて圧縮し、破断時の荷重を測定した．

#### Ⅲ-2-1-2. 結果および考察

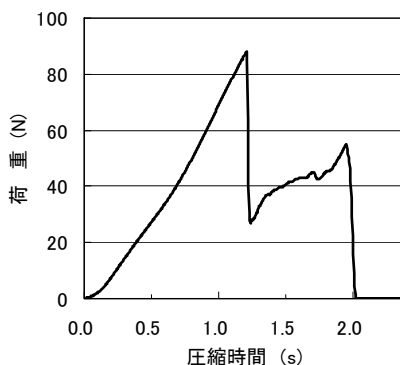
##### a. プローブ種類の検討

テクスチャー測定に際し、適切なプローブを選定するために、形状の異なる 5 種類のプローブを用いて、試料を圧縮あるいは貫入時のテクスチャー測定を行った．直径 25mm 円筒型プローブによるディスク圧縮の場合、圧縮に伴い荷重が上昇し、ディスク試料の破断直前に最大荷重を示し、破断直後に荷重が急激に低下し、さらに圧縮することにより最圧縮点まで荷重が上昇した（図Ⅲ

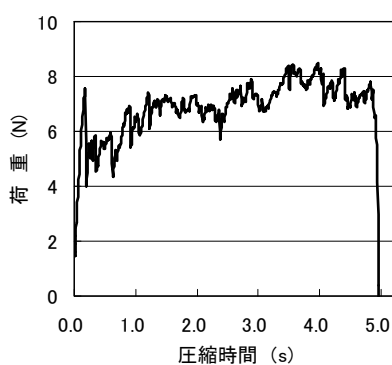
-2-2) . 次に、直径 2mm 円筒型プローブ (図Ⅲ-2-3) およびボルトゲビッチバイトジョー (図Ⅲ-2-4) では、プローブの貫入時に荷重ピークを示し、いったん荷重が低下した後、さらに貫入することにより最圧縮点まで荷重は徐々に上昇した。これらの測定法では、最大荷重を示すポイントは測定試料間で一定せず、貫入時、圧縮中および最圧縮時のそれぞれで観察された。針状プローブでは、試料への貫入から最圧縮点までの間、組織の破断によるピークは認められず、荷重が直線的に上昇し続け、最圧縮点で最大荷重を示した (図Ⅲ-2-5) . 先端球状プローブでは、貫入時に最大荷重を示し、最圧縮点まで徐々に荷重は低下した (図Ⅲ-2-6) . 各種プローブによる

テクスチャー測定時の最大荷重の平均値および最大荷重の反復間のばらつきを示した (表Ⅲ-2-1) . プローブ間では、直径 25mm 円筒型プローブを用いた場合が最も測定値のばらつきが少なく、変動係数は 10%未満であった。

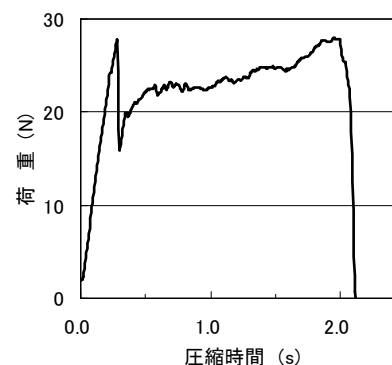
以上のように、直径 25mm 円筒型プローブ以外では、試料破断時の明確な最大荷重ピークの検出が困難であること、さらに直径 25mm 円筒型プローブの場合が最も測定値のばらつきが少なかったことから、根部のテクスチャー測定には、ディスク試料を直径 25mm 円筒型プローブで圧縮し、破断時の最大荷重を測定する方法が最適と判断された。



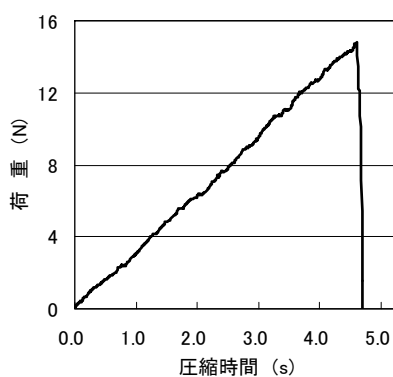
図Ⅲ-2-2 直径25mm円筒型プローブによるディスク試料のテクスチャー測定



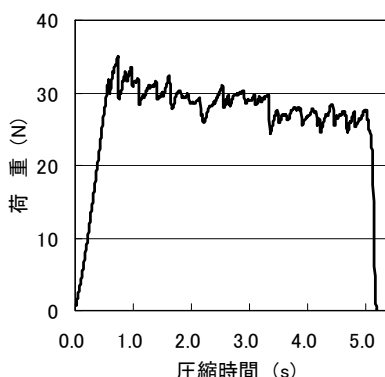
図Ⅲ-2-3 直径2mm円筒型プローブによる輪切り切片試料のテクスチャー測定



図Ⅲ-2-4 ボルトケビッチバイトジョーによる輪切り切片試料のテクスチャー測定



図Ⅲ-2-5 先端針状(基部直径2mm)プローブによる輪切り切片試料のテクスチャー測定



図Ⅲ-2-6 先端球状(1/4インチ)プローブによる輪切り切片試料のテクスチャー測定

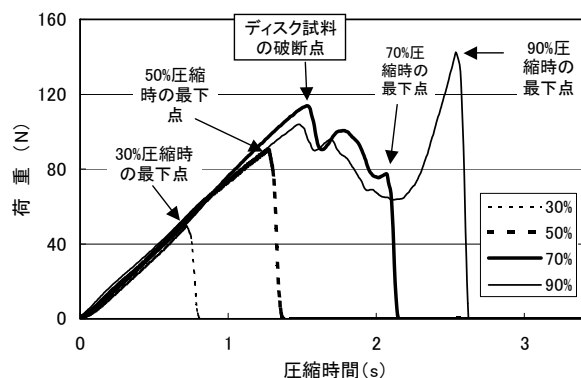
表Ⅲ-2-1 プローブの種類がテクスチャー測定時の最大荷重とそのばらつきに及ぼす影響

	25mmφ円筒 (ディスク試料)	2mmφ円筒	ボルトケビッチ バイトジョー	先端針状	先端球状
最大荷重 (gW)	87.3	6.9	26.1	14.5	34.9
変動係数 (C.V.%)	8.7	13.5	15.6	13.8	12.2

最大荷重の値は36反復の平均値.

b. 試料圧縮率の検討

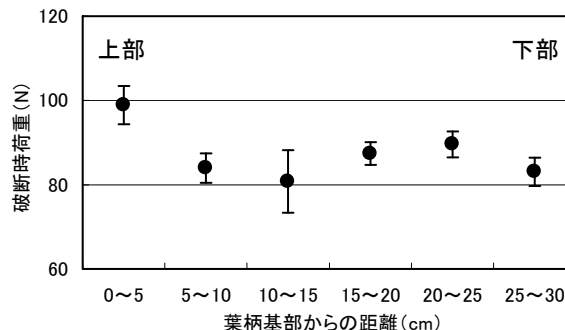
直径 25mm 円筒型プローブを用いてディスク試料のテクスチャーを測定する場合の最適な圧縮率を検討するため、圧縮率を 30%、50%、70%および 90%の 4 段階に設定して測定を行った (図Ⅲ-2-7) . 圧縮率 30%および 50%では、ディスク試料が破断する前に最圧縮点に達し、測定が終了した. そのため、破断時の荷重が測定できず、測定条件として不相当であった. 一方、圧縮率 70%の場合、試料破断時に最大荷重ピークを示した. また、圧縮率 90%の条件では、破断時に極大荷重を示した後、最圧縮点で最大荷重となり、試料破断時と最圧縮時の 2 つのピークが観察された. この場合、最圧縮時のピーク値を除外する操作が必要となりデータ集計時の効率が低下した. これらのことから、ディスク試料のテクスチャーを測定する場合の圧縮率は 70%に設定するのが最適と判断された.



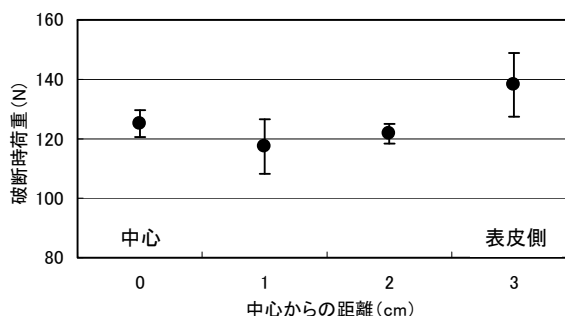
図Ⅲ-2-7 ディスク試料圧縮時の荷重測定曲線

c. テクスチャーの部位間差異の検討

試料の適切な調製部位を明らかにするため、根部の上～下方向および中心～表皮方向の各部位からディスク試料を調製し、テクスチャー測定を行った. 上下方向については、根部を葉柄基部から厚さ 5cm ずつ輪切りに切り分け、各部位からディスク試料を調製し、破断時荷重を測定した. その結果、根部最上端 (葉柄基部から 0～5cm の輪切り切片) から調製したディスク試料の破断時荷重は、他部位の試料に比べて有意に大きかった. 最上端以外の部位間では破断時荷重に有意な差は認められなかった (図Ⅲ-2-8) . 一方、中心から表皮方向については、輪切り断面で中心部から表皮に向かって 1cm 単位で各部位からディスク試料を調製し、破断時荷重を測定した. その結果、表皮のすぐ内側の部位 (中心部から 3cm) から調製した試料の破断時荷重は、他部位の試料に比べて有意に大きく、それ以外の部位間では有意な差が認められなかった (図Ⅲ-2-9) . これらのことから、テクスチャー測定用の試料は、破断時荷重が他の部位より有意に大きくなる根部の最上端および表皮直下の部位を避けて調製するのが最適と判断された.



図Ⅲ-2-8 根部テクスチャーの部位間差異(上～下)



図Ⅲ-2-9 根部テクスチャーの部位間差異(中心～表皮)

### Ⅲ-2-2. 物性測定機器による生および浅漬け加工したダイコンのテクスチャー評価法

#### Ⅲ-2-2-1. 材料および方法

##### a. 供試試料と試料調製

生食（サラダ）用には 1999 年 10 月十勝農試において収穫した 4 品種「おでん」, 「かつみ」, 「新八州」および「猷夏青首」を供試した。浅漬け用には 2001 年 10 月十勝農試において収穫した 4 品種「おでん」, 「かつみ」, 「健志総太り」および「猷夏青首」を供試した。いずれも生育中庸なもの 5 ~ 10 本を選別し、表面を水洗後、肉質の安定しない葉柄基部から 5 cm の部位および根部先端から 5 cm の部位を切除したものをそれぞれの用途に用いた。

浅漬け加工は、次のとおり「塩水浮かし漬け」とした。はじめに、根部を約 2 mm 厚で剥皮して厚さ 5 mm で輪切りにした後、さらに半月切りにして、試料重量の 1.2 倍量の下漬け液 (30 g·L<sup>-1</sup> 塩化ナトリウム - 1 g·L<sup>-1</sup> アスコルビン酸ナトリウム水溶液) を加え、15 °C で 24 時間下漬けした。下漬けした試料は、いったん水洗・水切りして秤量した後、再び重量の 1.2 倍量の本漬け液 (下漬け液 - 3 g·L<sup>-1</sup> グルタミン酸ナトリウム - 5 g·L<sup>-1</sup> 醸造酢水溶液) を加え、5 °C で 24 時間本漬けした。調製後の試料は、漬け液とともに小分けしてパッキングした後、官能評価およびテクスチャー測定時まで 5 °C で保存した。さらに、十勝農試において 2001 年 7, 8, 9, 10 月収穫の 4 作型で各々 9 ~ 12 品種のダイコンを、別途浅漬け加工して、各品種の加工に伴うテクスチャー変化を測定した。

浅漬け試料のテクスチャー測定は破断法とし、各品種の加工後試料から無作為に 20 切片ずつを選び、生食用と同様にディスク調製したものを測定した。

##### b. 物性測定機器によるテクスチャー測定

物性測定機器は、測定用アームが上下して治具（プローブ）を介して試料を圧縮し、その荷重を連続的に測定する機能を持つ Stable Micro Systems 社製テクスチャーアナライザー TA-XT2i を用いた。生食用試料の測定はプローブ貫入法（以下、貫入法と略）およびディスク破断法（以下、破断法と略）とした。

貫入法は、根部を剥皮せずに幅 2 cm 程度に輪切りし、さらに半月切りにし、うち一切片を表皮を上にして測定台上に置いた後、表皮最上点から根組織中心部へ向けてステンレス製の直径 2 mm 円筒型プローブを 2 mm·s<sup>-1</sup> の速度で貫入させ、その時の荷重を連続的に測定した。

破断法は、まず上記で調製した半月型試料の他方の切片を用い、Fuchigami (1987) の方法に準じて、表皮と

中心部の中間点をコルクボーラで直径 10 mm に打ち抜き、厚さ 5 mm に切断してディスクを調製した。その後、ディスクをアルミニウム製の直径 25 mm 円筒型プローブを用い、測定速度 2 mm·s<sup>-1</sup>、圧縮率 70 % の条件で圧縮させた時の荷重を連続的に測定した。

いずれの方法でも、測定値の取り込み速度は 200 点·s<sup>-1</sup> とした。また、各品種の根部 5 本ずつを首部から尻部にかけてそれぞれ 3 等分に輪切りし、各部位から半月 2 切片ずつあるいはディスク 2 個ずつを調製し、合計 30 試料を測定した。

##### c. 官能評価

官能評価にあたり、生食用試料はサラダ用途を想定して根部を約 2 mm 厚で剥皮後、スライサーを用いて断面 1.5 mm × 3.0 mm、長さ 30 ~ 60 mm の千切りにしたものを供試した。評価パネルは、天使女子短期大学食物栄養学科学学生 27 名 (18 ~ 19 歳、女性) である。評価項目は硬さおよび嗜好性とし、評価基準は各々「非常に軟らかい」-3 ~ 「普通」0 ~ 「非常に硬い」+3 および「非常にまずい」-3 ~ 「普通」0 ~ 「非常においしい」+3 の 7 段階評点法で評価を行った。

浅漬け用試料は、前述の方法で浅漬け加工したものを供試した。評価パネルは、北海道立中央農業試験場職員 43 名 (20 ~ 50 歳代、男女) である。評価項目および基準は生食用の項目に辛味を加え「全く辛くない」-3 ~ 「普通の辛さ」0 ~ 「非常に辛い」+3 の 7 段階評点法で評価を行った。

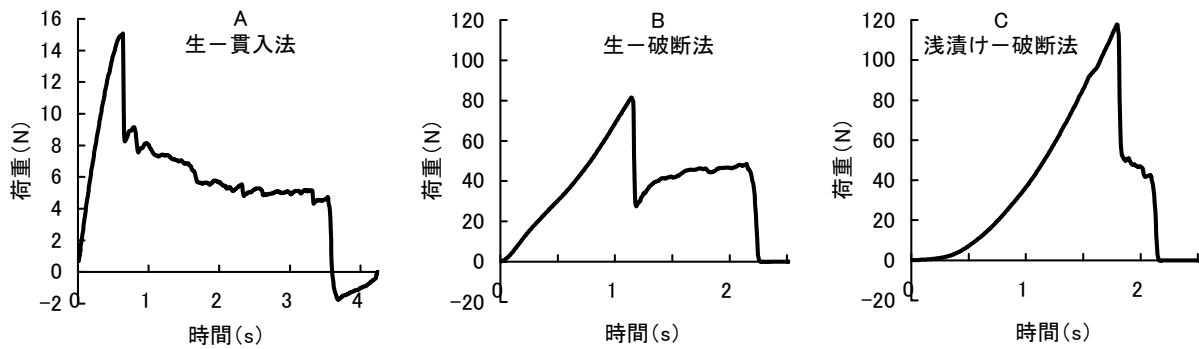
##### d. ペクチンの定量

試料中のペクチンは「新・食品分析法」(日本食品科学工学会 新・食品分析法編集委員会, 1996) に従って定量した。すなわち、生試料を凍結乾燥した後、粉碎し、エタノールを加えて環流してアルコール可溶性成分を除去し、アルコール不溶性固形物 (AIS) を調製した。AIS を水、0.4% ヘキサメタリン酸ナトリウム、0.05 mol·L<sup>-1</sup> 塩酸で順次抽出し、カルバゾール法で各画分のガラクトuron酸を定量し、ペクチン含有率を算出した。なお、ペクチン含有率は、試料の凍結乾燥前後の重量をそれぞれ秤量して乾物率を求め、新鮮重あたりの含量に換算して示した。

### Ⅲ-2-2-2. 結果および考察

#### a. 物性測定機器によるテクスチャー測定

物性測定機器を用いたテクスチャー評価のために、2 種類の方法を検討した。貫入法では、プローブにかかる荷重は試料に接触した直後の表皮貫入時に最も大きく、根部組織に貫入するに従って小さくなり、やがてほぼ一



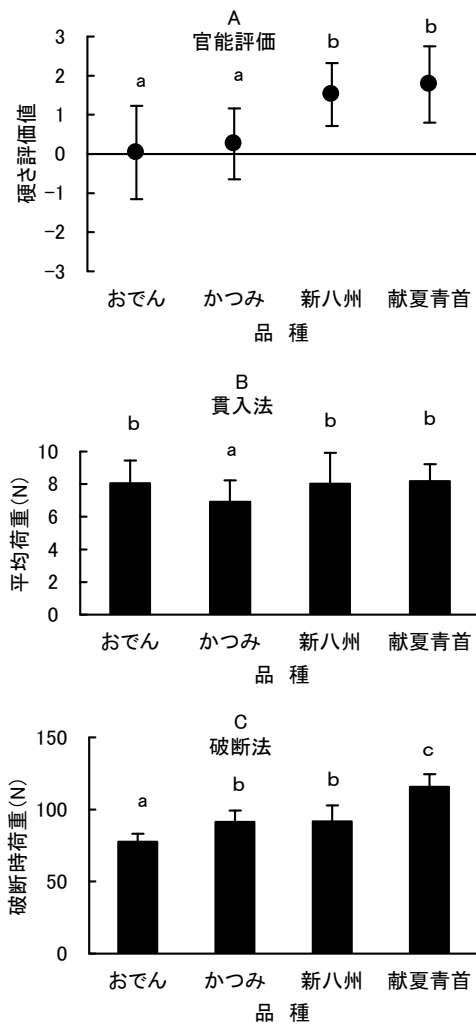
図Ⅲ-2-10 テクスチャーアナライザーによるダイコン試料の物性測定曲線  
 供試試料は2001年10月収穫の「かつみ」

定となった(図Ⅲ-2-10A)。一方、破断法では、プローブが試料を圧縮するに伴い急激にその荷重は大きくなり、ディスクの破断時に最大値をとり、破断直後には一旦急激に低下した後、最圧縮点に向け再度大きくなった(図Ⅲ-2-10B)。本報では官能評価用の試料は全て剥皮したものを供試している。このため、貫入法では、表皮を突きやぶる時の荷重ではなく、その後の組織貫入時の荷重、すなわち、試料とプローブが接触後1～3秒の間に測定された荷重の平均値を用いることとした。一方、破断法では、最も特異的な点であるディスク破断時の荷重を用いることとした。

浅漬け試料を破断法で測定した時の測定曲線は、生のものと異なる点が観察された(図Ⅲ-2-10C)。すなわち、生のものが破断点まで直線的に上昇したのに対して、浅漬けでは圧縮前半の上昇が緩やかで、破断後半から急激に上昇するパターンを示し、破断までの時間が長くなった。つまり、浅漬けによって弾力性が増大したことを示した。これは、田村(1995)が野菜に振り塩をした際にしなやかなテクスチャーになるとの指摘と同様、浅漬けにより細胞内の水分が放出されることにより膨圧を失い、原形質分離を生じるためと考えられた。また、硬さに影響を及ぼすヘキサメタリン酸可溶性ペクチンは塩蔵により減少することが明らかとなっており(金子ら, 1982b)、図Ⅲ-2-10Cに示したように浅漬け試料の変形初期の荷重値が生試料と比べて低い、すなわちしなやかな物性を示したのはヘキサメタリン酸可溶性ペクチンの減少によるものと推察された。

b. 官能による硬さ評価値と物性測定値の関係

生食用試料について、官能評価で得られた硬さ評価値と上記の測定法で得られた物性測定値との関係を示した(図Ⅲ-2-11)。供試品種は、カタログの記載や一般的



図Ⅲ-2-11 生試料の官能による硬さ評価値と物性測定値の関係

異なるアルファベット間に5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定) 誤差線は標準偏差を示す

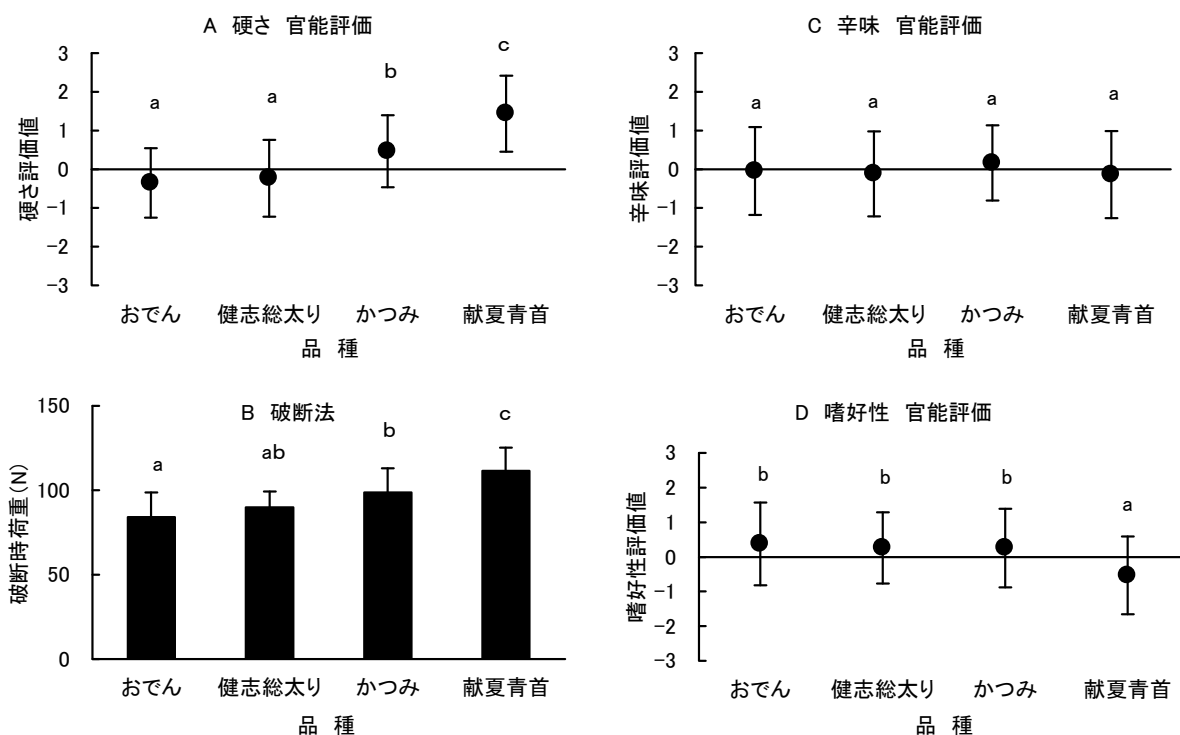
硬さ評価値: “非常にやわらかい”-3～“普通”0～“非常にかたい”+3

な評価で、肉質の軟らかいとされる「おでん」、標準的な青首品種「かつみ」、たくあん用（一般に青首品種より硬い）の白首品種「新八州」および青首品種の中では肉質の硬いとされる「献夏青首」の4品種を用いた。まず、官能による硬さ評価では、「おでん」が最も軟らかく、次いで「かつみ」であり、「新八州」および「献夏青首」はより硬い評価であった（図Ⅲ-2-11A）。次に、物性測定機器による荷重測定値は貫入法では「おでん」の測定値が「かつみ」より高く、官能評価の硬さ評価の結果と一致しなかった（図Ⅲ-2-11B）。従って、貫入法によるダイコンの硬さ評価は困難であると考えられる。このことは、直径2mm ニードル型プローブにより厚さ3mmの試料を繊維に対して3方向から測定した結果（平本・松本，1992）と同様であった。一方、破断法による荷重測定値は、「おでん」、「かつみ」、「新八州」および「献夏青首」の順に大きく、官能評価での硬さ評価と一致しており、品種の特性も反映していた（図Ⅲ-2-11C）。つまり、口腔内でのダイコン咀嚼時に感知される硬さと、ディスク試料が圧縮で破断される時の荷重の間には整合性が認められ、ダイコンの硬さを客観的に

に評価する機器測定法としては破断法が適当であると判断される。

浅漬け試料についても、官能評価による硬さ評価値と破断法で得られた物性測定値との関係を検討した（図Ⅲ-2-12）。供試品種は、生食用と同様の「おでん」、「かつみ」および「献夏青首」に加え、「健志総太り」の4品種を用いた。官能による硬さ評価では「おでん」が最も軟らかく、次いで「健志総太り」、「かつみ」であり、「献夏青首」は最も硬い評価となった（図Ⅲ-2-12A）。一方、機器による破断時荷重についても官能による硬さ評価と同じ品種の順となった（図Ⅲ-2-12B）。従って、生と同様に浅漬けしたダイコンにおいても、破断法を用いることで硬さの評価が可能であると判断された。さらに、官能評価値に有意な差が認められた「おでん」と「かつみ」および「かつみ」と「献夏青首」において、物性測定値の差はそれぞれ14.6 Nおよび12.8 Nであった。このことから、浅漬け後のダイコンの硬さについて、破断時荷重に13 N程度の差があれば、官能により硬さの差を明確に識別可能であると考えられた。

浅漬けしたダイコンでは、硬さと同時に辛味および嗜



図Ⅲ-2-12 浅漬け試料の官能による硬さ評価値と物性測定値の関係

異なるアルファベット間に5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定)。誤差線は標準偏差を示す。

硬さ評価値: “非常にやわらかい”-3~“普通”0~“非常にかたい”+3

辛味評価値: “全く辛い”-3~“普通の辛さ”0~“非常に辛い”+3

嗜好性評価値: “非常にまずい”-3~“普通”0~“非常においしい”+3

好性の官能評価も実施した。その結果、辛味評価ではいずれの品種間にも有意な差が認められなかった（図Ⅲ-2-12C）。また、嗜好性評価では「猷夏青首」が他の3品種に比べて有意に評価値が低く、品種による嗜好性の差異が観察された（図Ⅲ-2-12D）。そこで、官能評価を行った全パネルの各試料に対する「硬さ」と「嗜好性」の評価値をもとに相関関係の有無を検討した。その結果、両者の間に1%水準で有意な負の相関関係（Spearmanの順位相関係数  $r_s = -0.34$ ）が認められた。つまり、浅漬けでは、辛味に差が認められない場合、硬いものよりも軟らかいものの方が好まれることが示唆された。

c. 生および浅漬けしたダイコンのテクスチャーの変化  
作型毎（7, 8, 9, 10月収穫）にそれぞれ9～12品種を供試して、破断時荷重の品種間差異および浅漬け加工に伴う変化について検討した。その結果、生試料の破断時荷重は70～128 N、浅漬け試料では96～166 Nの範囲にあり、いずれも品種間に有意な差が認められた（図Ⅲ-2-13）。作型が異なる場合でも、各品種間での破断時荷重の順位に大きな変動はなかった。また、全ての作型および品種において、生よりも浅漬け加工後の方が破断時荷重は増大した。さらに、全試料（計41点）について、生と浅漬け後の破断時荷重の関係を検討したところ、両者に0.1%水準で有意な正の相関関係（ $r = 0.78^{***}$ ）が認められた（表Ⅲ-2-2）。つまり、本報で実施したように塩漬け期間が短い浅漬けの場合、各品種の硬さ特性が浅漬け加工後も保持されると考えられた。

破断時荷重に品種間差異が生じた要因を明らかにするため、全供試品種について、ペクチン含有率（表Ⅲ-2-3）と生および浅漬け試料の破断時荷重（図Ⅲ-2-13）との関係を検討した。その結果、両者間に密接な関係が見いだされた。すなわち、作型間でやや傾向が異なるが、概ね不溶性ペクチン（ヘキサメタリン酸可溶性ペクチンと塩酸可溶性ペクチン）および全ペクチン含有率と破断時荷重との間に有意な正の相関が認められる場合が多かった。また、いずれの作型でもAIS含有率と破断時荷重との間には有意な正の相関が認められた。金子ら（1982b, 1983）の報告では、加工過程でのヘキサメタリン酸可溶性ペクチンの比率が塩漬け後の硬さに影響を及ぼしていることを指摘している。本報では、ペクチンに加えてAIS含有率についても、破断時荷重との有意な正の相関関係が認められた（表Ⅲ-2-2）。

野菜の食味構成要素の中でもテクスチャーは極めて重要な項目であり、細胞壁の物理・化学的構造が大きな影響を及ぼす（田村, 1995）。パレイショではペクチンの性状が生鮮時の物性に大きな影響を及ぼし、加工特性の違いの要因としてもペクチンの関与が明らかとなっている（佐藤ら, 1998）。また、メロンでは果肉の追熟による軟化過程で塩酸可溶性ペクチンの減少と水溶性ペクチン含量の増加が観察され、果肉硬さと水溶性ペクチン含量間に有意な負の相関関係が見いだされている（平井ら, 2007）。さらに、キュウリではピクルス加工時の硬度の増大に伴って水酸化ナトリウム可溶性ペクチン含量が増

表Ⅲ-2-2 破断時荷重とペクチン含有率との相関

収穫時期	試料	破断時荷重と新鮮物中ペクチン含有率との相関 <sup>2</sup>						
		WP <sup>v</sup>	PP <sup>x</sup>	HP <sup>w</sup>	PP+HP	TP <sup>v</sup>	AIS <sup>u</sup>	生
7月 (n=9)	生	0.21	0.38	0.48	0.55	0.58	0.81 <sup>**</sup>	—
	浅漬け	0.31	0.36	0.79 <sup>**</sup>	0.81 <sup>**</sup>	0.86 <sup>**</sup>	0.91 <sup>***</sup>	0.86 <sup>**</sup>
8月 (n=12)	生	0.27	0.57	0.47	0.66 <sup>*</sup>	0.81 <sup>**</sup>	0.67 <sup>*</sup>	—
	浅漬け	0.20	0.63 <sup>*</sup>	0.51	0.73 <sup>**</sup>	0.84 <sup>***</sup>	0.68 <sup>*</sup>	0.81 <sup>**</sup>
9月 (n=11)	生	0.36	0.86 <sup>**</sup>	0.58	0.85 <sup>***</sup>	0.81 <sup>**</sup>	0.78 <sup>**</sup>	—
	浅漬け	0.39	0.80 <sup>**</sup>	0.58	0.81 <sup>**</sup>	0.80 <sup>**</sup>	0.64 <sup>*</sup>	0.85 <sup>***</sup>
10月 (n=9)	生	0.31	0.06	0.14	0.10	0.21	0.68 <sup>*</sup>	—
	浅漬け	0.41	0.45	0.38	0.45	0.61	0.73 <sup>*</sup>	0.78 <sup>*</sup>
全期 (n=41)	生	0.30	0.47 <sup>**</sup>	0.43 <sup>**</sup>	0.53 <sup>***</sup>	0.65 <sup>***</sup>	0.71 <sup>***</sup>	—
	浅漬け	0.10	0.53 <sup>***</sup>	0.44 <sup>**</sup>	0.57 <sup>***</sup>	0.54 <sup>***</sup>	0.60 <sup>***</sup>	0.78 <sup>***</sup>

<sup>2</sup>相関係数の有意水準: \*5%, \*\*1%, \*\*\*0.1%

<sup>v</sup>水溶性ペクチン, <sup>x</sup>ヘキサメタリン酸可溶性ペクチン, <sup>w</sup>塩酸可溶性ペクチン,

<sup>v</sup>全ペクチン, <sup>u</sup>アルコール不溶性固形物

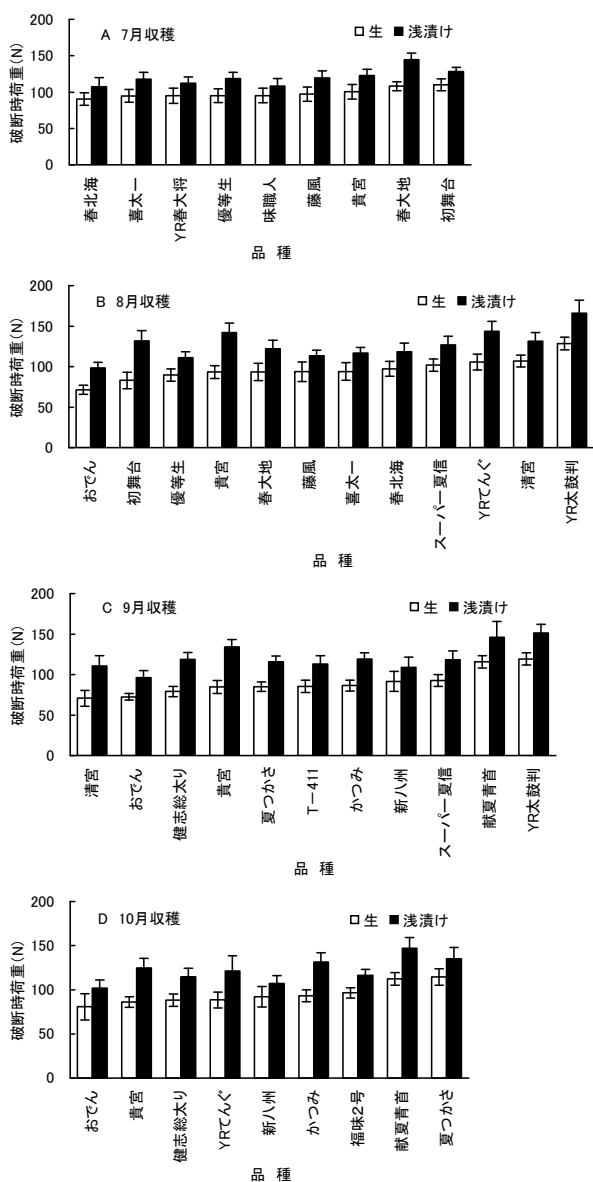


図 III-2-13 浅漬けによるディスク破断時荷重の変化の品種間差異

誤差線は標準偏差を示す

供試試料は、いずれも2001年十勝農試産

生の破断時荷重の小さい品種(左)から大きい品種(右)の順に並べた

表 III-2-3 各作型におけるペクチン含有率の品種間差異

品種	WP <sup>z</sup>	PP <sup>y</sup>	HP <sup>x</sup>	PP+HP	TP <sup>w</sup>	AIS <sup>v</sup>
	(mg/100gFW)					
<b>7月収穫</b>						
春北海	90	150	196	346	436	1776
喜太一	101	139	204	342	443	1817
YR春大将	99	132	196	327	426	1797
優等生	109	139	196	335	444	1827
味職人	109	134	187	321	431	1806
藤風	87	137	205	342	429	1786
貴宮	85	140	218	358	443	1935
春大地	113	145	234	378	492	2038
初舞台	98	148	193	341	440	1896
<b>8月収穫</b>						
おでん	90	109	134	242	332	1535
初舞台	55	137	187	325	380	1865
優等生	66	126	183	309	376	1735
貴宮	44	143	209	352	396	1820
春大地	59	130	180	311	370	1788
藤風	50	120	200	320	370	1900
喜太一	59	139	196	334	394	1743
春北海	55	130	201	331	386	1815
スーパー夏信	40	147	213	360	399	1948
YRてんぐ	58	108	248	356	413	1857
清宮	73	114	167	281	353	1732
YR太鼓判	104	181	194	374	479	1967
<b>9月収穫</b>						
清宮	51	127	188	315	366	1662
おでん	17	132	149	280	298	1473
健志総太り	77	129	163	293	369	1558
貴宮	23	138	184	322	345	1670
夏つかさ	31	117	173	290	321	1566
T-411	25	121	207	328	353	1709
かつみ	40	147	171	318	358	1569
新八州	49	136	172	307	356	1781
スーパー夏信	48	145	206	352	399	1820
献夏青首	61	168	191	359	420	1834
YR太鼓判	55	174	212	386	442	1855
<b>10月収穫</b>						
おでん	118	108	132	240	357	1597
貴宮	104	149	186	335	439	1976
健志総太り	106	126	161	287	393	1704
YRてんぐ	111	118	171	289	400	1864
新八州	94	122	177	299	393	1903
かつみ	111	123	162	285	397	1772
福味2号	94	114	165	280	373	1792
献夏青首	114	160	178	338	452	2065
夏つかさ	122	97	151	248	369	1964

z水溶性ペクチン, yヘキサメタリン酸可溶性ペクチン, x塩酸可溶性

ペクチン, w全ペクチン, vアルコール不溶性固形物

供試試料は、いずれも2001年十勝農試産

収穫時期毎に生の破断時荷重の小さい品種(上)から大きい品種

(下)の順に並べた(図 III-2-13に示した品種順)



加する傾向が認められている（桑原ら，1985）．本章においても，品種間で生じた破断時荷重の差異は，細胞壁構成成分であるペクチンの含有率に加え AIS 含有率の違いも密接に関係していると考えられ，品種毎の硬さ評価・スクリーニングに化学的手法（ペクチン・AIS 定量）が適用できる可能性も示唆された．

以上のように，異なる作型や年次にわたる多点数のダイコン試料について，同一条件下で硬さを比較評価することが可能となった．さらに，破断法を用いることにより，浅漬け試料についても硬さの評価法として活用できると考えられる．今後，浅漬け用途も含めたダイコンの品質向上を目指し，新品種育成，栽培・貯蔵技術研究に活用され，高品質安定生産に資することが望まれる．また，硬さのみならず，キュウリで検討例のあるコリコリ感（堀江ら，2004）や多汁性などの項目についても評価法が確立されることにより，総合的なテクスチャー評価へのレベルアップが期待される．

### Ⅲ-2-3. 煮物調理によるテクスチャーの変化と評価法

#### Ⅲ-2-3-1. 材料および方法

##### a. 供試試料と物性測定

供試試料には，2001 年 7，8，9 および 10 月収穫の十勝農試産ダイコン 9 ～ 14 品種を用いた．いずれも生育中庸なもの 5 ～ 10 本を選別し，表面を水洗後，肉質の安定しない茎葉基部から 5 cm の部位および根部先端から 5 cm の部位を切除したものを物性測定用および官能評価用に供試した．

物性測定用の試料は，根部試料からコルクボーラーを用いて直径 10mm × 厚さ 5mm のディスク（1 処理当たり 12 個）を打ち抜き，蒸留水 50mL とともに 100mL 容のトルビーカーに入れ，オートクレーブを用いて煮熟して調製した．オートクレーブの設定温度は 98℃ とし，煮熟時間は 10 分間および 60 分間に設定した．なお，煮熟時の加熱条件を一定にするため，蒸留水は 25℃ に保温したものを用い，オートクレーブはあらかじめ 98℃ に予備加熱した．煮熟後のディスクは水を切り，ラップで包装して放冷後，テクスチャー測定時まで 25℃ のインキュベーターで保温した．物性測定は，テクスチャーアナライザーを用いて煮熟後のディスクを直径 25mm 円筒型プローブで圧縮し，ディスク破断時の荷重を測定した．その他の測定条件は「生」試料の方法に準じた．

##### b. 官能評価による硬さ評価

官能評価用試料には，2001 年 10 月十勝農試産ダイコン「おでん」，「健志総太り」，「かつみ」，「猷夏青首」の 4 品種を供試した．試料は，厚さ 3cm に輪切り

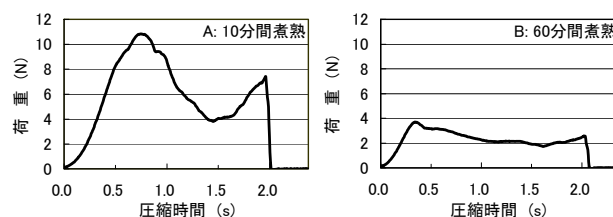
（10 切片）して剥皮後，3L の水とおでんのだし（テオー食品株式会社製「関東煮」）50g とともに鍋に入れ，ガスレンジで加熱した．1 時間 15 分間煮熟した後，放冷し，一晚冷蔵庫（5℃）で放置した．官能検査前に再度，ガスレンジで加熱後，各切片をいちよう切りで 4 等分して供試した．評価パネルは，天使大学栄養学科学生 32 名（18 ～ 20 歳，女性）である．硬さの評価は，「非常に軟らかい」-3 ～ 「普通」0 ～ 「非常に硬い」+3 の基準により 7 段階の評点法で実施した．

### Ⅲ-2-3-2. 結果および考察

#### a. テクスチャー評価法の検討

煮熟後のディスク試料を圧縮し，破断時の荷重を測定することによりテクスチャー評価を試みた．はじめに，ディスク試料の煮熟が破断時荷重の変化に及ぼす影響について検討した．その結果，煮熟後のテクスチャー測定曲線では，生に比べて破断時の荷重が著しく減少するとともに，破断までの圧縮時間は短くなった（図Ⅲ-2-14A, B）．これは，煮熟によるダイコンの軟化と，破断性が高まったことを示している．また，テクスチャーアナライザーによる硬さの客観的評価のための煮熟条件を明らかにするために，98℃ で 10 分間煮熟および 60 分間煮熟の両条件で破断時荷重を測定した．その結果，作型毎の供試品種平均の破断時荷重を集計すると，10 分間煮熟に比べて 60 分間煮熟条件の方が測定値の変動が少なかった（表Ⅲ-2-4）．これは，10 分間の煮熟ではディスク間の煮えむらが多く，60 分間の煮熟では 10 分間に比べて煮えむらが少なかったためと考えられた．このため，60 分間煮熟の方が品種間の差異をより良く検出できると思われた．

以上のように，煮えむらおよび測定値のばらつきの少なさから判断して，生試料から調製したディスクをオートクレーブで 98℃，60 分間の煮熟後，破断時の荷重を測定することで，煮物の硬さ評価の条件として最適と判断された．



図Ⅲ-2-14 煮熟後のディスク試料のテクスチャー測定

表Ⅲ-2-4 煮熟時間の違いがテクスチャー測定値の変動係数に及ぼす影響

収穫時期	測定値の変動係数の平均値(C.V.%)	
	10分間	60分間
7月	26.8	14.9
8月	23.9	16.7
9月	25.1	19.0
10月	24.6	16.4

オートクレーブ、98℃で煮熟  
2001年、十勝農試産品種間差

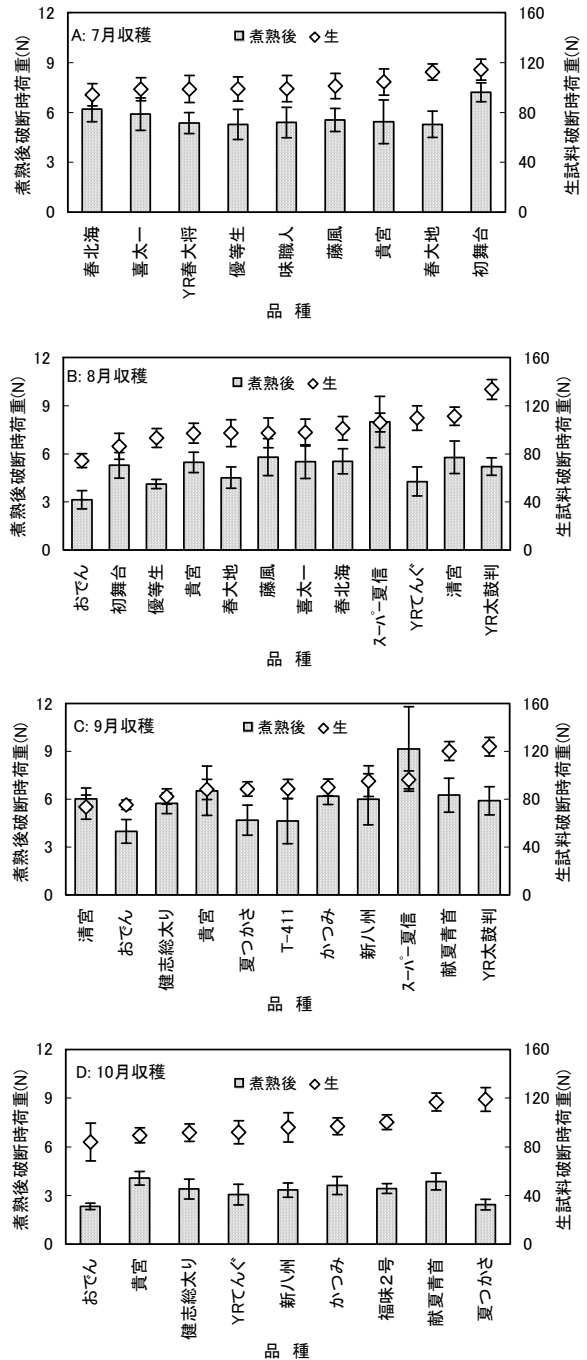
各供試品種において、生の場合と比較して、煮熟により破断時荷重がどのように変化するか検討した。その結果、煮熟後試料の破断時荷重は、生に比べて著しく低下し、最低 2.34N ~ 最高 9.17N の範囲に分布した (図Ⅲ-2-15A, B, C, D)。肉質が軟らかいとされる煮物用品種「おでん」は、供試したいずれの作型でも、供試品種の中で煮熟後の破断時荷重が最も小さかった (図Ⅲ-2-15B, C, D)。これに対し、「スーパー夏信」は煮熟後の破断時荷重が最も大きかった (図Ⅲ-2-15B, C)。「YR 太鼓判」の破断時荷重は、生試料では 8 月および 9 月収穫のいずれの作型でも最大値を示したが、煮熟後の破断時荷重は供試品種の中では中間的な値であった (図Ⅲ-2-15B, C)。

全作型 (7, 8, 9, 10 月収穫) について、生と煮熟後の破断時荷重の関係を検討した結果、両者に有意な相関は認められなかった (図Ⅲ-2-16)。つまり、生の硬さから煮熟後の硬さを推定するのは困難であると考えられる。これは、前述したように各供試品種の生の硬さが加工後も反映される浅漬け加工とは異なる傾向を示した。

ダイコン煮熟後のテクスチャーに及ぼす内部成分の影響を明らかにするため、煮熟後の破断時荷重と煮熟による軟化に関係の深いペクチン含量の関係を検討した。その結果、煮熟後の破断時荷重と不溶性 (ヘキサメタリン酸および塩酸可溶性) ペクチン含量には高い正の相関が認められた (図Ⅲ-2-17)。

#### b. 官能評価による硬さ評価

肉質特性の異なる 4 品種を選び、これらを煮物調理した試料について、官能検査による硬さ評価を行い、テクスチャーアナライザーによる煮熟後ディスク試料の破断時荷重との関係について検討した。その結果、テクスチャーアナライザーによるディスク試料の破断時荷重は、「おでん」が 2.33N、「健志総太り」が 3.39N、「かつみ」が 3.61N および「献夏青首」が 3.85N であり、品種間に有意な差が認められた (図Ⅲ-2-18)。また、官能

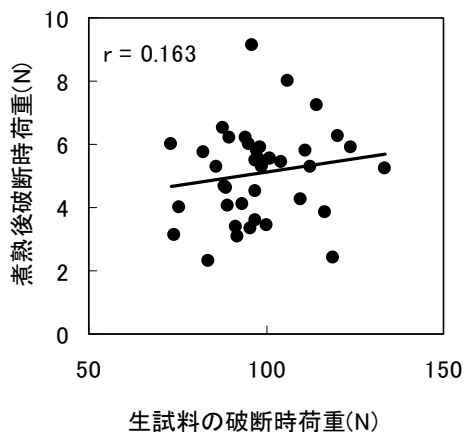


図Ⅲ-2-15 生および煮熟後の破断時荷重の品種間差異

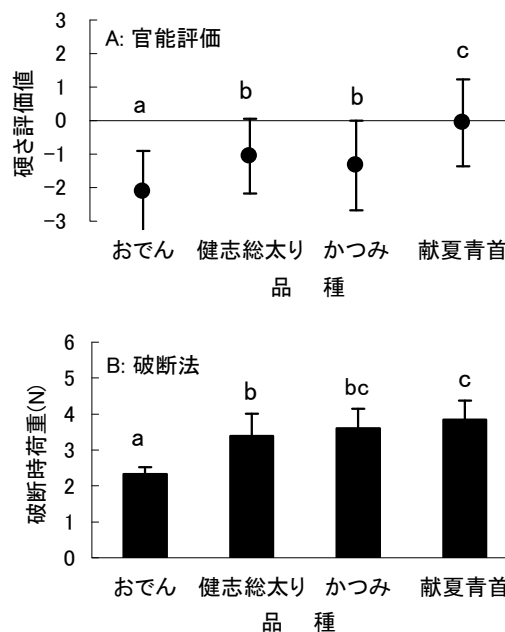
2001年十勝農試産.

図中のバーは、標準偏差を示す。

検査による硬さ評価値は、軟らかいと評価されたものから順に「おでん」、「かつみ」、「健志総太り」および「献夏青首」であり、「かつみ」と「健志総太り」の間を除いて、各品種間に有意な差が認められた。この官能検査で有意差の認められた品種間において、機器分析によるディスク試料の破断時荷重と官能検査による硬さ評



図Ⅲ-2-16 生試料の破断時荷重と煮熟後の破断時荷重の関係

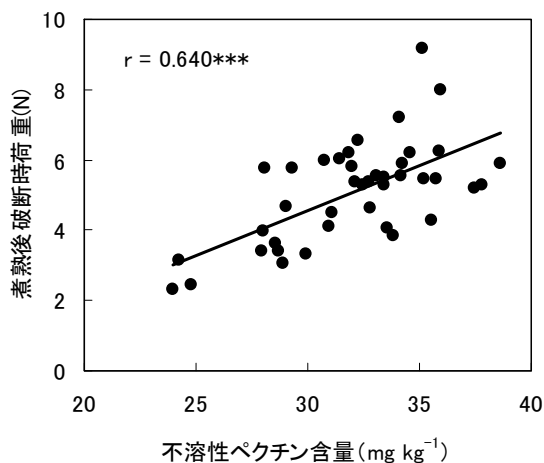


図Ⅲ-2-18 煮熟後試料の破断時荷重とかたさの官能評価指数の関係

2001年10月, 十勝農試産.

かたさの官能評価指数は, 7段階の評点法(-3:非常にやわらかい~0:普通~3:非常にかたい)により実施した。

図中のアルファベット異文字間に1%水準で有意差あり(Tukey).



図Ⅲ-2-17 不溶性ペクチン含量と煮熟後破断時荷重の関係

2001年十勝農試産ダイコン, 41点

\*\*\*: 0.1%水準で有意差あり

価の傾向は一致し, 品種間の差を反映していた. このため, テクスチャーアナライザーによる煮熟後のディスク試料の破断時荷重を測定することにより, 煮物調理後のダイコンの硬さを客観的に評価することが可能であると判断された. さらに, 官能評価で有意な差が認められなかった「かつみ」と「健志総太り」の破断時荷重の差は0.22N, 官能評価で有意差の認められた「おでん」と「健志総太り」および「健志総太り」と「献夏青首」の差はそれぞれ 1.06N および 0.46N であった. これらのことを勘案すると, 官能評価で煮物調理後の硬さの差が識別可能となる荷重値は, およそ 0.5N と判断された.

以上のように, ダイコンの重要な品質評価項目であるテクスチャーについて, 物性測定機器を用いた客観的評価法を検討し, その具体的方法および官能によって感知できる荷重値などを明らかにした. この客観的評価を活用することにより, 育種および栽培研究等における多点多数試料の品質, 年次や作型の異なる試料の品質および流通貯蔵に伴う品質変化などが同一条件下で評価可能になる. また, 主体的評価法である官能評価に比べて, 評価パネルの確保にかかる労力やパネルの身体的負担の軽減および評価ぶれが抑制できる等のメリットもある. 表Ⅲ-2-5, 表Ⅲ-2-6 には, 本章で検討したテクスチャーアナ

表Ⅲ-2-5 テクスチャーアナライザーによる硬さ測定用試料の調製方法

用途	前処理	加工方法	加工後処理	留意点
生	直径10mm×厚さ5mmのディスクを調製	—	—	試料は根部を上・中・下部に3等分し、各部位から均等にサンプリング。ただし、根部最上端(葉柄基部から5cm)は除外。ディスクは表皮直下を避け、根中心部から1~2cmの部位から採取。
浅漬け	剥皮後、厚さ5mmの半月切り試料を調製	15°C・24時間下漬け後、水洗・水切りし、本漬け液を加え、5°C・24時間漬け込み。	漬け上がり後、直径10mm×厚さ5mmのディスクを調製。	
煮物	直径10mm×厚さ5mmのディスクを調製	100mL容ビーカーにディスク試料と蒸留水50mLを加え、オートクレーブで98°C・60分間煮熟。	ディスクを水切りし、ラップ包装して放冷後、測定時まで25°Cで保温。	

表Ⅲ-2-6 テクスチャーアナライザーによるディスク試料の硬さ測定方法

分析機器	SMS社製 Texture Analyser TA-XT2i
使用プローブ	直径25mm円筒型プローブ
テストモード	圧縮時の荷重測定
テストオプション	Return to Start
テストスピード	2mm/s
試料の圧縮率	70%
トリガー	オート 0.1N
荷重値獲得速度	200points/s
データ集計	ディスク試料破断時の荷重値

ライザーによるダイコンのテクスチャー評価について、生、浅漬け加工および煮物調理の各用途毎に検討し、試料の調製方法および測定方法を取りまとめた。

### Ⅲ-2-4. 調理加工による辛味成分の変化

#### Ⅲ-2-4-1. 材料および方法

##### a. 供試試料と ITC の抽出

供試試料は、2000年および2001年の7、8、9、10月収穫の十勝農試産ダイコン6～14品種を用いた。各品種3個体を供試し、剥皮せずに首部から尻部にかけて縦方向に切断して縮分した。ダイコン根部からの辛味成分(4-メチルチオ-3-ブテニルイソチオシアネート、以下ITCと略記)の抽出は、伊藤(1993)の方法により実施した。すなわち、ナイロンフィルターによる固形物除去が可能なジューサーを用いて、ダイコンの根部を搾汁し、この搾汁液10mlにジエチルエーテルを加えて全量50mLとし、振とう抽出した。エーテル層20mLを共栓付き試験管に分取し、無水硫酸ナトリウム100mgを加えて脱水後、分析開始まで-80°Cのフリーザーで保存した。

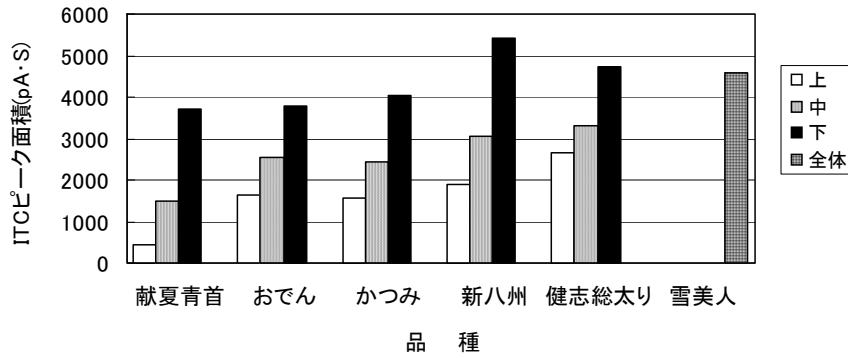
##### b. ITC 分析

ITCの定量は、Hewlett Packard社製ガスクロマトグラフAgilent 6890(検出器NPD)を用い、岡野ら(1990)

および堀ら(1999)の方法に準じて実施した。分析用カラムはJ & W社製DB-WAX(30m(L), 0.32mm(i.d.), 0.15 μm(df))、注入口温度は240°C(スプリットレス注入)、サンプル注入量はオートサンプラーで2 μL、He流量は0.9mL/min。(コンスタントプレッシャーモード)とした。測定温度条件は初期温度60°Cで1分間保持後180°Cまで20°C/min.で昇温、180~250°Cまで10°C/min.で昇温させた後1分間保持した。4-メチルチオ-3-ブテニルイソチオシアネートの標準物質は市販されていないためピーク面積(pA・S)を算出し、同時に供試した内部標準物質(フェニルイソチオシアネート5ppm)の測定値を用いて補正した。測定は1試料につき2回行い、平均値で示した。

#### Ⅲ-2-4-2. 結果および考察

ダイコンの部位によるITC含量の違いを明らかにするため、各供試品種において、根部を上部、中部、下部に3等分し、部位間のITC含量を測定した。その結果、いずれの品種でも下部で最もITC含量が高く、ついで中部、上部の順であった(図Ⅲ-2-19)。「新八州」および「健志総太り」の下部のITC含量は、辛味品種「雪美人」の根部全体のITC含量を上回った。



図Ⅲ-2-19 異なる品種におけるITC含量の部位間差

2000年10月, 十勝農試産

表Ⅲ-2-7 ダイコン根部のITC含量の品種間差異 (2000年, 十勝農試産)

7月収穫		8月収穫		9月収穫		10月収穫	
品 種	ITC含量 相対値	品 種	ITC含量 相対値	品 種	ITC含量 相対値	品 種	ITC含量 相対値
春北海	100 (2560)	春北海	100 (2650)	健志総太り	100 (4620)	健志総太り	100 (3580)
優等生	79 (2010)	優等生	68 (1810)	おでん	73 (3380)	献夏青首	53 (1900)
藤 風	86 (2200)	YRてんぐ	77 (2050)	スーパ-夏信	73 (3390)	おでん	74 (2650)
味職人	90 (2300)	春大将	79 (2100)	夏つかさ	81 (3730)	かつみ	75 (2680)
春大地	98 (2520)	スーパ-夏信	82 (2170)	献夏青首	83 (3820)	新八州	97 (3460)
初舞台	103 (2630)	春大地	87 (2300)	YR太鼓判	87 (4020)	雪美人	128 (4590)
春大将	109 (2800)	喜太一	98 (2600)	貴 宮	97 (4500)		
貴 宮	111 (2850)	味職人	111 (2930)	かつみ	98 (4540)		
T-450	118 (3010)	貴 宮	118 (3130)	新八州	108 (5010)		
		初舞台	118 (3140)	T-411	112 (5170)		
		藤 風	119 (3160)	W-7525	127 (5870)		
		清 宮	155 (4110)				
		T-411	179 (4750)				

( )内の数値は, ガスクロマトグラフ分析時のITCピーク面積(pA·S).

ITC含量は, 各作型の標準品種(7, 8月収穫「春北海」および9, 10月収穫「健志総太り」)のITCピーク面積(pA·S)を100とした場合の比率で表示した.

標準品種以外は, ITCピーク含量の低いものから表示. 網掛けは辛味品種.

表Ⅲ-2-8 ダイコン根部のITC含量の品種間差異 (2001年, 十勝農試産)

7月収穫		8月収穫		9月収穫		10月収穫	
品 種	ITC含量 相対値	品 種	ITC含量 相対値	品 種	ITC含量 相対値	品 種	ITC含量 相対値
春北海	100 (170)	春北海	100 (580)	健志総太り	100 (2030)	健志総太り	100 (690)
藤 風	76 (130)	YR太鼓判	14 (80)	貴 宮	32 (650)	献夏青首	22 (150)
初舞台	100 (170)	優等生	16 (90)	献夏青首	33 (680)	貴 宮	35 (240)
喜太一	106 (180)	喜太一	19 (110)	スーパ-夏信	42 (860)	かつみ	87 (600)
優等生	106 (180)	おでん	21 (120)	おでん	54 (1090)	おでん	87 (600)
味職人	124 (210)	藤 風	40 (230)	YR太鼓判	63 (1270)	福味2号	100 (690)
貴 宮	124 (210)	YRてんぐ	45 (260)	清 宮	64 (1290)	YRてんぐ	106 (730)
YR春大将	129 (220)	雪美人	62 (360)	かつみ	88 (1780)	新八州	113 (780)
春大地	200 (340)	春大地	93 (540)	T-411	95 (1930)	夏つかさ	183 (1260)
時 無	206 (350)	初舞台	102 (590)	時 無	96 (1940)	時 無	196 (1350)
雪美人	324 (550)	スーパ-夏信	122 (710)	新八州	117 (2380)	雪美人	348 (2400)
		清 宮	140 (810)	雪美人	126 (2550)	辛 丸	620 (4280)
		貴 宮	140 (810)	夏つかさ	133 (2700)	からいね	1119 (7720)
		時 無	174 (1010)			KA-199	2316 (15980)

( )内の数値は, ガスクロマトグラフ分析時のITCピーク面積(pA·S).

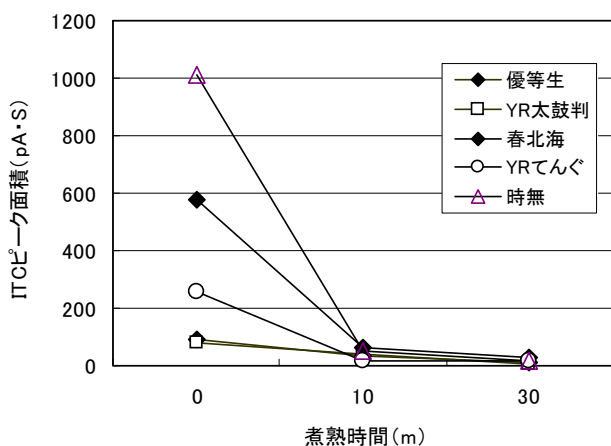
ITC含量は, 各作型の標準品種(7, 8月収穫「春北海」および9, 10月収穫「健志総太り」)のITCピーク面積(pA·S)を100とした場合の比率で表示した.

標準品種以外は, ITCピーク含量の低いものから表示. 網掛けは辛味品種.

表Ⅲ-2-9 浅漬け後のダイコンITC含量の品種間差異

7月収穫			8月収穫			9月収穫		
品 種	ITCピーク面積(pA・S)	浅漬けによるITC含量増減倍率	品 種	ITCピーク面積(pA・S)	浅漬けによるITC含量増減倍率	品 種	ITCピーク面積(pA・S)	浅漬けによるITC含量増減倍率
藤風	290	2.23	YR太鼓判	480	6.00	貴宮	2050	3.16
春北海	220	1.29	優等生	570	6.33	献夏青首	1310	1.93
初舞台	80	0.47	喜太一	280	2.55	スーパー夏信	1390	1.62
喜太一	240	1.33	おでん	1090	9.08	おでん	2010	1.84
優等生	170	0.94	藤風	450	1.96	YR太鼓判	1300	1.02
味職人	160	0.76	YRてんぐ	2050	7.88	清宮	2090	1.62
貴宮	160	0.76	雪美人	3210	8.92	かつみ	2840	1.60
YR春大将	110	0.50	春大地	340	0.63	T-411	2110	1.09
春大地	170	0.50	春北海	430	0.74	時無	3110	1.60
雪美人	180	0.33	初舞台	620	1.05	健志総太り	3390	1.67
			スーパー夏信	1320	1.86	新八州	3000	1.26
			清宮	730	0.90	雪美人	3700	1.45
			貴宮	1840	2.27	夏つかさ	2880	1.07
			時無	2950	2.92			

2001年十勝農試産。網掛けは辛味品種。



図Ⅲ-2-20 煮熟によるダイコンITC含量の変化

煮熟温度:98℃, オートクレーブにより煮熟した。

次に、ITC 含量の品種間差異を測定した結果、辛味品種（表中の網掛けの部分）での ITC 含量は 1,350 ~ 15,980pA・S の範囲に分布し、いずれの作型でも高い水準にあった。また、辛味品種以外では 2000 年産が 1,810 ~ 5,870pA・S、2001 年産が 80 ~ 2,700pA・S と広範囲に分布した（表Ⅲ-2-7、表Ⅲ-2-8）。

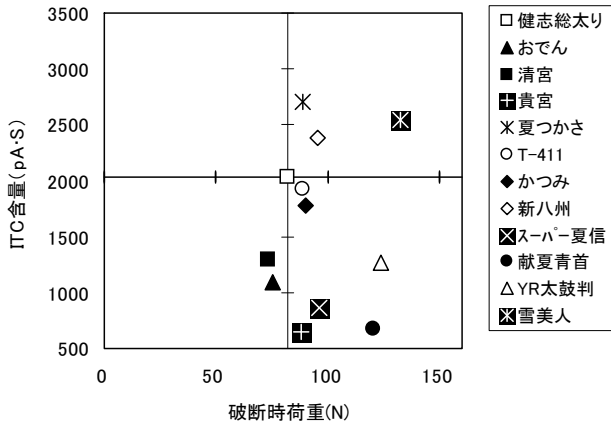
さらに、これまで検討例のない浅漬け加工および煮熟に伴う ITC 含量の変化を検討した。その結果、生試料と浅漬け後の ITC 含量を比較すると、品種および作型により浅漬け加工に伴う ITC 含量増減の傾向が異なった（表Ⅲ-2-9）。すなわち、7 月収穫作型では、「春北海」、「喜太一」、「藤風」の 3 品種を除いて、浅漬けにより ITC 含量は低下した。8 月収穫作型では、「春北

海」、「春大地」、「清宮」の 3 品種を除いて、浅漬けにより ITC 含量は高まった。9 月収穫作型では、いずれの品種も浅漬けにより ITC 含量は高まった。次に、煮熟による ITC 含量の変化を測定した結果、生試料に比べ、98℃ 10 分間という短時間の加熱によっても、ITC 含量はいずれの品種においても著しく低下した（図Ⅲ-2-20）。これは、グルコシノレートを加水分解して ITC を生成する酵素であるミロシナーゼが加熱により失活し、ITC 生成を抑制したためと考えられた。このことから、煮物調理では ITC による辛味はほとんど食味評価上の問題にはならないと思われた。

以上に述べたテクスチャーおよび辛味成分の評価法を適用し、2001 年 9 月収穫物について、生、浅漬けおよび煮物用途について品質評価を試みた（図Ⅲ-2-21、図Ⅲ-2-22、図Ⅲ-2-23）。すなわち、x 軸を破断時荷重、y 軸を ITC 含量として、標準品種の「健志総太り」を中心（x、y 軸の交点）におき、各品種をプロットし、標準品種と比較して品質上の違いを抽出した。なお、煮物用途については、煮熟により ITC 含量は著しく低下し、食味評価上の問題にならないと想定されるため、テクスチャーのみを評価項目とした。

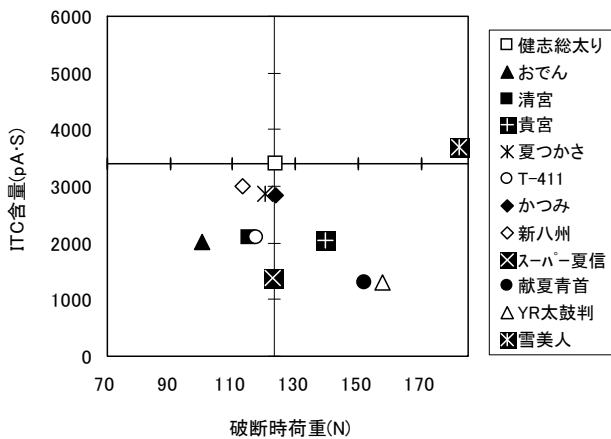
生の場合、硬くて ITC 含量の高い品種は「夏つかさ」、「新八州」、「雪美人」、硬くて ITC 含量の低い品種は「T-411」、「かつみ」、「YR 太鼓判」、「献夏青首」、「スーパー夏信」、「貴宮」、軟らかくて ITC 含量の低い品種は「おでん」、「清宮」と 3 区分に分類された（図Ⅲ-2-21）。

同様に、浅漬けの場合、標準品種「健志総太り」と比



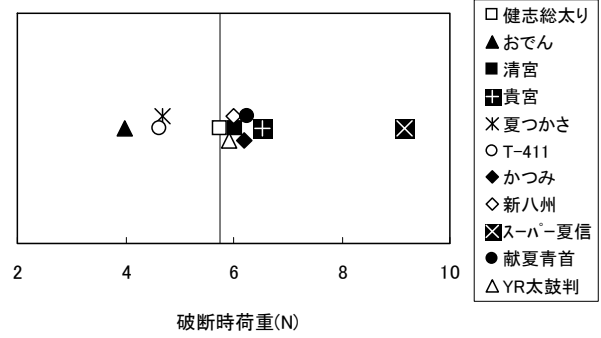
図Ⅲ-2-21 生試料のかたさと辛味成分含量の違いによる品種区分

2001年9月収穫試料. 標準品種「健志総太り」(破断時荷重82.2N, ITC含量2030pA·S)を中心において区分した.



図Ⅲ-2-22 浅漬後のかたさと辛味成分含量の違いによる品種区分

2001年9月収穫試料. 標準品種「健志総太り」(破断時荷重123.4N, ITC含量3390pA·S)を中心において区分した.



図Ⅲ-2-23 煮熟後のかたさの違いによる品種区分

2001年9月収穫試料. 標準品種「健志総太り」(破断時荷重5.75N)を中心において区分した.

較して、硬くて ITC 含量の高い品種は「雪美人」、硬くて ITC 含量の低い品種は「YR 太鼓判」、「献夏青首」、「貴宮」、軟らかく ITC 含量の低い品種は「おでん」、硬さがほぼ同じで ITC 含量の低い品種は「夏つかさ」、「かつみ」、「スーパー夏信」、「清宮」、「T-411」、「新八州」と 4 区分に分類された(図Ⅲ-2-22)。なお、浅漬けの場合、「健志総太り」との破断時荷重の差が、官能評価で識別可能な 13N 未満となった品種は、同等の硬さとした。

煮物の場合、標準品種「健志総太り」と比較して、硬い品種は「貴宮」、「スーパー夏信」、「献夏青首」、軟らかい品種は「おでん」、「夏つかさ」、「T-411」、硬さがほぼ同じ品種は「清宮」、「かつみ」、「新八州」、「YR 太鼓判」と 3 区分に分類された(図Ⅲ-2-23)。なお、煮物調理では、「健志総太り」との破断時荷重の差が、官能評価で識別可能な 0.5N 未満となった品種は、同等の硬さとした。

以上の評価法の適用により、多点数の試料への対応および異なる年次・作型間の比較など、これまで困難であったダイコンの品質、とりわけ、用途(生、浅漬け加工、煮物調理)も勘案した客観的評価が可能となった。今後、品種選定、栽培技術および流通貯蔵技術の向上などの試験研究において、用途を含めたダイコンの品質評価にこれらの成果が活用され、高品質安定生産に資することが望まれる。

### Ⅲ-3. キャベツのテクスチャー評価法と加工による変動

キャベツでは、栄養・機能性ととも嗜好性に大きな影響を及ぼすテクスチャーが最重視される品質項目の一つである。今後、新品種開発を始め、栽培および調理・加工段階でのキャベツの品質向上を図る上で、テクスチャーの客観的評価法の確立は重要となる。そこで、本研究では、キャベツ食味評価において最も重要視されるテクスチャーを対象に、物性測定機器による客観的評価法の検討を行った。

#### Ⅲ-3-1. 材料および方法

##### a. 供試試料と試料調製

試料にはボール系「アーリーボール」、偏円大玉系「札幌大球」および寒玉系「寒明」の3品種を供試した。「アーリーボール」は北海道内農協より購入し、その他は北海道立中央農業試験場で栽培したもので、いずれも初夏まき作型（7月中旬定植，10月下旬収穫）である。キャベツ試料は、結球の外側葉2枚を除き、外側から10枚までの結球葉を採取し、フードスライサーを用いて幅2mmに切断（千切り）した。

##### b. 官能評価

調製した前記の3品種の試料について、以下の項目について7段階の評点法により官能検査を行った。硬さは「非常に硬い」-3～「普通」0～「非常に軟らかい」+3、歯切れは、「非常に歯切れが悪い」-3～「普通」0～「非常に歯切れが良い」+3、多汁性は、「非常にぱさつく」-3～「普通」0～「非常にみずみずしい」+3、嗜好性は、「非常にまずい」-3～「普通」0～「非常においしい」+3とした。評価パネルは、天使女子短期大学学生35名（18～19歳，女性）である。

##### c. 物性測定機器によるテクスチャー測定

物性測定機器は、プローブにより試料を圧縮し、その荷重を連続的に測定する機能を持つ Stable Micro Systems 社製テクスチャーアナライザー TA-XT2i を用いた。測定部位（葉脈，葉脈間）および測定条件（プローブ種類，測定速度）について検討した。試料の荷重測定は、20反復で測定した。また、多汁性の評価は、試料圧搾後の溢出水率の測定により検討した。すなわち、4重のろ紙（ADVANTEC No.5C 110mm）に10gのみじん切り試料を直径9cmの円内に均一に広げ、さらに4重のろ紙を重ね、テクスチャーアナライザー（直径100mm円形プレート）で60秒間、10kgの力で圧搾した。その後、ろ紙に吸収された溢出水量を秤量により測定し、溢出水

量を試料重量で除した溢出水率を求めた。溢出水量の測定は、5反復で行った。

#### Ⅲ-3-2. 結果および考察

##### a. テクスチャーアナライザーによる物性測定

テクスチャーアナライザーによる「硬さ」および「歯切れ」の評価のため、以下の2種類のプローブを用いて貫入時荷重および圧縮時荷重の測定を行った。すなわち、葉部組織を突き破る時の力を表す貫入時荷重については、直径2mmの円筒型プローブと穴あきプラットフォームの組合せにより測定し、葉部をつぶし切る時の力を表す圧縮時荷重は、人間の前歯の形を模したボルトケビッチバイトジョーにより測定した。貫入時荷重は、試料の測定部位がプラットフォームの穴上になるように固定した後、プローブにより圧縮を開始し、その先端が試料の裏側に突き抜ける瞬間の荷重とした。プローブの移動速度は、遅すぎると完全に試料を貫入せず、早すぎると適切な測定部位からずれることがあるため毎秒1mmに設定した。一方、圧縮時荷重は、試料の測定部位をボルトケビッチバイトジョーの下側のブレード上に置き、上側のブレードで試料を圧縮し測定をした。プローブの移動速度は、貫入時荷重の測定に比べて測定開始からプローブの移動距離が小さいため毎秒0.1mmに設定し、試料の厚さの95%まで圧縮した時点で測定を終了した。ボルトケビッチバイトジョーによる圧縮荷重測定時は、上側のブレードが試料を挟んで圧縮することにより抵抗値は上昇し、最下点（試料の厚さの95%まで圧縮時）に達する直前に最大値を示した。この最大値をその試料の圧縮時荷重とした。

##### b. 試料測定部位の検討

キャベツの葉では葉脈と葉脈間で物性が異なるため、両者を区別しないで測定するとばらつきが大きくなることが想定される。そのため、どの部位がテクスチャー測定に適しているかを検討した。その結果、いずれの品種においても、葉脈の貫入時荷重および圧縮時荷重はともに葉脈間の値を上回り、測定値のばらつきも大きかった（表Ⅲ-3-1）。このため、キャベツのテクスチャー測定部位は葉脈間が適当であると考えられた。

##### c. テクスチャー測定値と官能評価の関係

千切りにした3品種のキャベツについて、評点法で「硬さ」および「歯切れ」を官能評価した。その結果、いずれの品種間にも有意な差が認められた（表Ⅲ-3-2）。「硬さ」の項目では柔らかい順に「アーリーボール」、 「札幌大球」、 「寒明」であり、「歯切れ」では歯切れの良いものから順に「アーリーボール」、 「札幌大球」、



表Ⅲ-3-1 測定部位の違いがテクスチャー測定値に及ぼす影響

品 種	貫入時荷重				圧縮時荷重			
	葉脈間		葉脈		葉脈間		葉脈	
	荷重値(g)	CV(%)	荷重値(g)	CV(%)	荷重値(g)	CV(%)	荷重値(g)	CV(%)
アーリーボール	183	16.1	470	38.3	776	19.1	888	21.5
札幌大球	326	25.0	668	44.3	1049	13.1	1183	21.1
寒 明	373	21.7	969	26.3	1290	16.1	1524	20.3

表Ⅲ-3-2 キャベツ(千切り)のテクスチャー官能評価

品 種	硬 さ			歯 切 れ			多 汁 性			嗜 好 性		
	評価	寒明	札幌大球	評価	寒明	札幌大球	評価	寒明	札幌大球	評価	寒明	札幌大球
アーリーボール	0.56	**	**	0.80	**	**	1.21	**	**	1.23	**	**
寒明	-1.56		*	-0.80		*	-1.28		**	-0.80		NS
札幌大球	-0.98			-0.20			-0.60			-0.45		

NS:有意差なし, \*:p<0.05, \*\*:p<0.01

かたさ「非常に硬い」-3~「普通」0~「非常に軟らかい」+3

歯切れ「非常に歯切れが悪い」-3~「普通」0~「非常に歯切れが良い」+3

多汁性「非常にばさつく」-3~「普通」0~「非常にみずみずしい」+3

嗜好性「非常にまずい」-3~「普通」0~「非常においしい」+3

表Ⅲ-3-3 キャベツのテクスチャー測定値の品種間差異

品 種	貫入時荷重(g)		圧縮時荷重(g)	
	荷重値	標準偏差	荷重値	標準偏差
アーリーボール	183	29	1940	370
寒 明	373	81	3226	520
札幌大球	326	81	2623	345

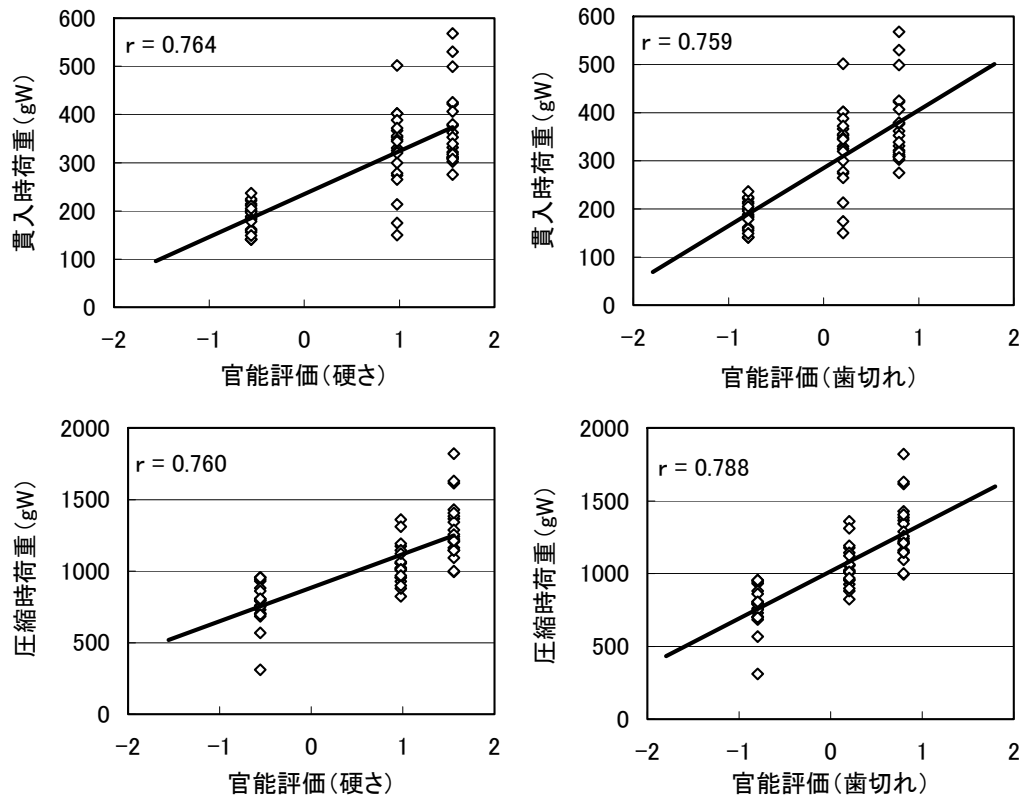
「寒明」となった。官能評価に用いたものと同じ試料を用いて、貫入時荷重および圧縮時荷重を測定した結果、官能検査でより「硬く」、より「歯切れが悪い」と評価されたものほど、いずれの荷重値も高い値を示した(表Ⅲ-3-3)。また、官能評価の平均値とテクスチャー測定値の関係を検討した結果、官能評価とテクスチャー測定値との間には有意に高い正の相関が認められた(図Ⅲ-3-1)。さらに、回帰係数から考慮して「硬さ」の評価には貫入時荷重が、「歯切れ」の評価には圧縮時荷重が適当であると考えられた。

官能評価により「札幌大球」と「寒明」との間に「硬さ」および「歯切れ」について差が認識されたこと(表

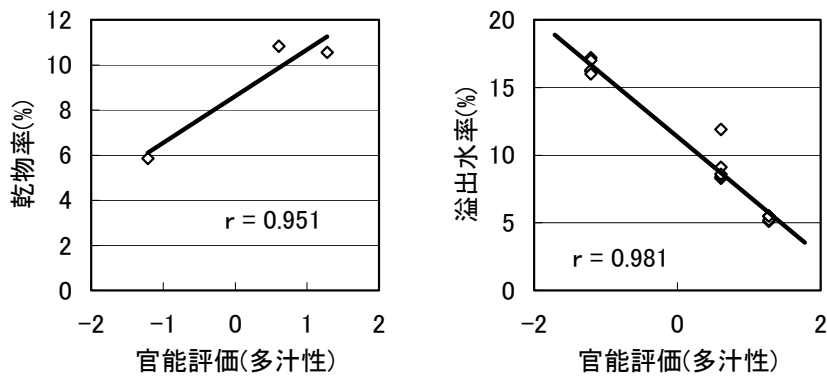
Ⅲ-3-2) およびテクスチャーアナライザーによる荷重値の差から、生のキャベツの場合、貫入時荷重の平均値で50g以上、圧縮時荷重の平均値で250g以上の差があればテクスチャーの違いが認められることが示唆された(表Ⅲ-3-3)。さらに、テクスチャー測定値と官能評価の相関から推測すると、生キャベツの標準的な(官能評価値=0の時のy値)「硬さ」は貫入時荷重230g程度、標準的な(官能評価値=0の時のy値)「歯切れ」は圧縮時荷重1020g程度と考えられた(図Ⅲ-3-1)。

#### d. 多汁性の評価

千切りキャベツの多汁性評価のため、3品種を供試して、多汁性の官能評価値と乾物率および溢出水率の関係



図Ⅲ-3-1 硬さおよび歯切れの官能評価とテクスチャーアナライザー測定値の関係



図Ⅲ-3-2 多汁性の官能評価値と乾物率および溢出水率の関係

について検討した。その結果、多汁性の官能評価において、各品種間に有意な差が認められ、みずみずしいと評価されたものから順に「アーリーボール」，「札幌大球」，「寒明」となった（表Ⅲ-3-2）。また、多汁性の官能評価値と乾物率の間には有意な相関が見いだされな

かったのに対し、溢出水率とは有意に高い正の相関が認められた（図Ⅲ-3-2）。したがって、生キャベツの多汁性評価には、溢出水率を指標にすることができると考えられた。

## 第IV章 野菜類の内部品質の非破壊計測法の確立

本章では、野菜類の品質向上のための非破壊評価法について検討した。農産物は、各種環境要因によって個体ごとの品質にばらつきが生じ、栽培法のみで一定の品質に揃えることが困難である。そのため、野菜の選果施設における全量非破壊評価およびそれに基づく選別・出荷が重要となる。それにより、流通上好ましくないものの除去や各種調理・加工用途の違いに応じて品質区分された野菜の供給が可能となり、流通および調理・加工段階での品質向上が図られる。スイカでは、重要品質項目である果実糖度を選果場段階で光学的手法による非破壊計測法が生産現場に導入されている。ここでは、ジャガイモのデンプン価およびダイコンの内部障害について、選果ライン上での可視・近赤外分光法による非破壊計測法を検討した。

### IV-1. ジャガイモのデンプン価の非破壊計測法

第III章-1に示したように、ジャガイモのデンプン価は調理・加工適性および食味に大きな影響を及ぼす。ジャガイモでは個々の塊茎ごとに肥大やデンプン蓄積速度が異なるため、そのデンプン価は栽培条件のみならず、個体間および塊茎間でも大きく変動する。このため、時により消費者および実需者からのクレームが生じる。これらの対策として、果実等で先進的な利用が進んでいる非破壊品質評価を選果ライン上に導入することが有効と考えられる。そこで本章では、デンプン価に基づくジャガイモ選別技術導入のため、実用的な選果機稼働条件下での可視および近赤外分光法を用いた非破壊測定法を検討した。

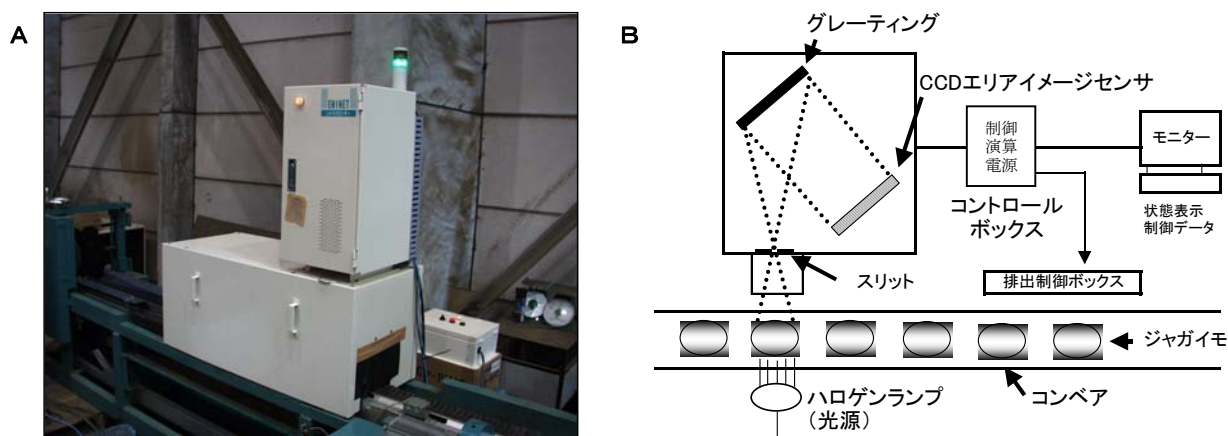
### IV-1-1. 材料および方法

#### a. 供試試料

試料はいずれも2003年に収穫された北海道産ジャガイモ「男爵薯」、「メークイン」、「キタアカリ」の3品種を用いた。各品種について、それぞれM(70g以上100g未満)、LM(100g以上120g未満)、L(120g以上190g未満)、2L(190g以上260g未満)の4規格、計12区分から109～120個ずつ塊茎を供試した。これらの試料は各区分ごとにほぼ同数となるように2群に分け、一方を検量線作成用に、他方を検量線評価用とした。供試試料はいずれも表面がブラシがけ処理され、わずかに付着土が認められる状態(通常の市場流通されるものと同様に選果ラインを通過したもの)であり、今後特に断りのない限りこの状態のものを供試した。

#### b. 分析機器およびスペクトル測定

分光測定部に(株)エミネット製「ライン型アグリセンサー」、コンベア部に(株)マキ製作所製ピアノ鍵盤式コンベアを装備した分析機器を用い、これをようてい農業協同組合の選果施設内に設置した(図IV-1-1)。試料ジャガイモは個々の塊茎を区別できるように、あらかじめ表皮に油性黒インクで通し番号を付した。試料の透過光吸収スペクトルは、光源のハロゲンランプ(100W)から照射された光を塊茎にあて、透過光を対面の高感度CCDエリアイメージセンサーで受光すること(光源対向式拡散透過分光分析方式、測定波長範囲730～930nm、測定波長間1nm)により測定した。光源から受光部までの距離は160mmで、その内訳は光源から光源側コンベア端まで30mm、コンベア幅が100mm、受



図IV-1-1 測定装置の外観および内部構造模式図

A: 機器全景, B: 全体構成の模式図

光部側コンベア端から受光部まで 30 mm とした。供試試料は、コンベアにより分光測定部へ供給し、連続的に測定した。その際、コンベアは、選果場での通常の運転速度である 50 m/min. で稼働させた。測定室の環境温度は 5 ~ 25 °C の範囲であり、試料も同室内に一晩放置したものを供試した。試料と試料の間の非測定時は光量調節用 ND フィルターにより、試料 1 個ごとにレファレンスを測定した。

#### c. 比重測定によるデンプン価測定

スペクトル測定後の試料は、比重測定法によりデンプン価を測定した(永田, 1956)。すなわち、試料は水洗して蒸留水中での重量(W:水中重 g)を測定した後、表面の水分を拭き取り一晩室内に放置して重量(D:空中重 g)を測定し、式(I)から比重rを求め、式(II)によりデンプン価(S%)を算出した。

$$r = D / (D - W) \quad (I)$$

$$S = (r - 1.05) \times 214.5 + 7.5 \quad (II)$$

#### d. 検量線作成および評価

検量線作成用試料のスペクトルデータと比重測定によるデンプン価実測値を基に、Partial Least Squares (PLS) 回帰分析により検量線を作成した。スペクトルデータは約 1 nm ごとの吸光度の値からなる原スペクトルを 2 次微分したものを採用した。解析ソフトは「The Unscrambler 6.01」を用いた。その後、上記で作成した検量線を用いて、評価用試料のスペクトルデータによりデンプン価推定値を算出し、予測標準誤差(SEP, 推定値と実測値の残差の標準偏差)から測定精度を評価した。

#### e. 各種条件の異なる試料に対する適応性の評価

検量線作成用とは別に、品種ごとに M ~ 2L の各 4 規格からそれぞれ 6 個の試料をとり、これらを連続的に 10 回繰り返し測定し、デンプン価推定値のばらつきから繰り返し測定精度を評価した。また、産地の異なる試料への適応性を評価するため、3 品種について検量線作成用試料の産地とは異なる別の 2 産地から、それぞれ 4 規格のジャガイモ試料を収集した。収集した試料はほぼ同数となるように 2 群に分けた。そのうち一方は、各産地ごとに 4 規格から 40 ~ 60 個、計 180 ~ 230 個を測定し、産地の違いが推定値に及ぼす影響を評価した。もう一方の試料群は、全て水洗処理により付着土を除去した。上記と同様、産地ごと、規格ごとに 40 ~ 60 個、計 200 個程度を測定し、表面の付着土の有無が推定値に及ぼす影響を評価した。

長期間の貯蔵がデンプン価推定値に及ぼす影響を評価するため、低温貯蔵庫(3 °C)において、4 か月(「メークイン」)および 8 か月間(「男爵薯」および「キタ

アカリ」)貯蔵された各品種、4 規格の塊茎を各区分ごとに 104 ~ 120 個ずつ供試し、貯蔵がデンプン価推定値に及ぼす影響を評価した。また、試料の温度が推定値に及ぼす影響を評価するため、検量線作成用とは別に品種ごとに 4 規格約 20 個ずつ、計 70 ~ 80 個について、それぞれ常温(品温 21.6 °C)で測定した後、同じ試料を低温庫で一晩放置し(品温 2.5 °C)、再度測定した。

### IV-1-2. 結果および考察

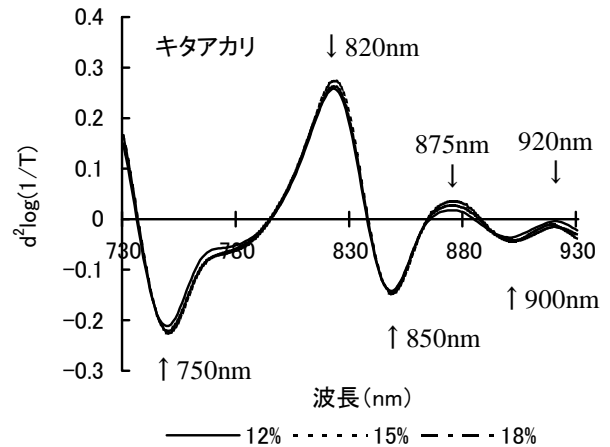
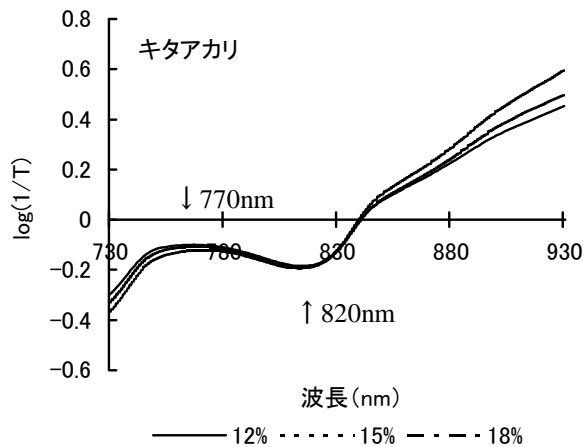
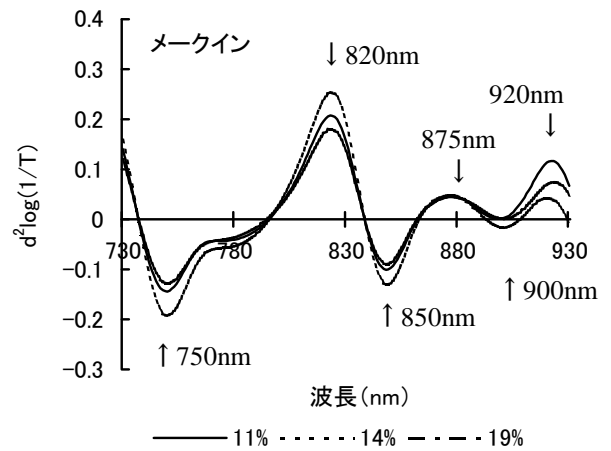
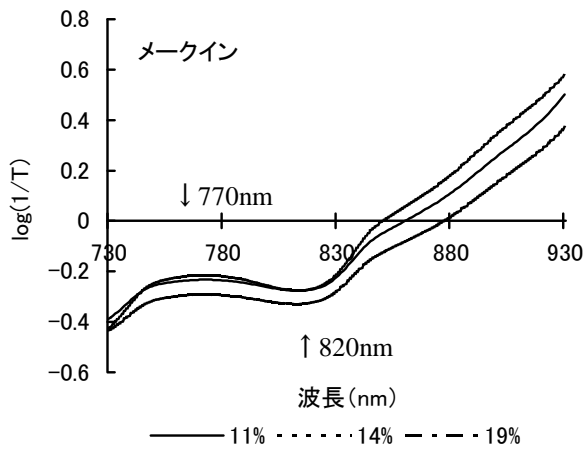
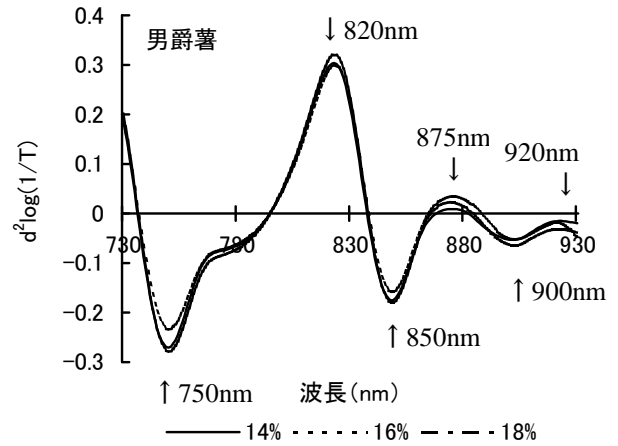
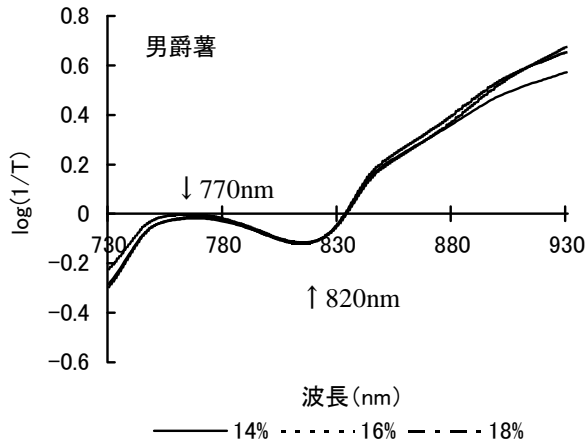
#### a. スペクトル解析によるデンプン価の推定

ジャガイモ試料(L規格)の透過光測定により得られた原スペクトルおよび 2 次微分スペクトルを図 IV-1-2 に示した。原スペクトルの形状は品種ごとにやや異なったが、770 nm 周辺にブロードな極大吸収および 820 nm 付近に極小値がいずれの品種においても観察された。また、2 次微分スペクトルでは 820 nm, 875 nm および 920 nm 付近に極大値, 750 nm, 850 nm および 900 nm 付近で極小値を示した。

各品種ごとに、全規格の検量線作成用試料の原スペクトルを 2 次微分処理し、得られた 2 次微分スペクトルの 730 ~ 930 nm における 1 nm ごとの全ての値と比重測定法によるデンプン価(実測値)をもとに、PLS 回帰分析を行い、検量線を作成した。これら品種別の検量線を用いて、評価用試料の 2 次微分スペクトルからデンプン価を算出し(推定値)、SEP を算出した。その結果、「男爵薯」、「メークイン」、「キタアカリ」(全規格込み)の SEP はそれぞれ 0.87%, 0.58% および 0.86% であった(表 IV-1-1, 図 IV-1-3)。また、同一品種内での重量規格の違いが SEP に及ぼす影響は認められなかった(表 IV-1-1)。

既往の研究で、ジャガイモ塊茎のデンプン価に 2% 以上の差があると官能評価時に食味の差として感知されることが明らかとなっている(小宮山ら, 2002)。また、Chen ら(2005)は、実験室レベルで SEP が 0.0044 g cm<sup>-3</sup> (デンプン価換算で 0.94% 相当)の精度で測定できることを示した。そこで、本研究では実用レベル、すなわち通常の選果機稼働時のコンベア運転速度で連続的に測定する条件下で、SEP がデンプン価で 1 % 未満となることを目標に検討した。ジャガイモのデンプン価は表皮直下で最も高く、塊茎内部に向かって低下し、中心部で最低となる(小原ら, 1997)。このため、反射スペクトルでは表皮直下のデンプン価のみを測定することとなり、塊茎全体のデンプン価測定が困難であることから、スペクトル測定法として透過法を採用した。

検量線は、品種間でジャガイモの特性が大きく異なる



図IV-1-2 デンプン値が異なるジャガイモ塊茎の透過スペクトル

左列:原スペクトル, 右列:2次微分スペクトル

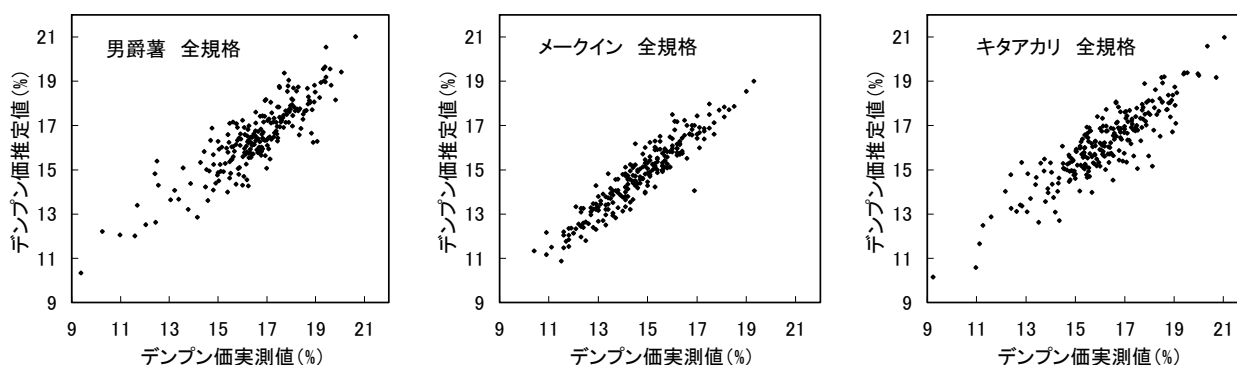
供試試料はいずれの品種もL規格を供試した

表IV-1-1 品種および重量規格が異なるジャガイモの分光法によるデンプン価推定

品 種	規格 <sup>1)</sup>	供試試料数		R	SEP	供試試料のデンプン価の分布範囲 <sup>2)</sup>					
		検量線作成用	評価用			検量線作成用			評価用		
						平均	最小	最大	平均	最小	最大
男爵薯	M	61	58	0.91	0.95	15.7	10.2	20.2	15.7	9.4	19.6
	LM	57	57	0.86	0.94	17.1	10.3	20.2	17.1	11.0	20.6
	L	55	54	0.76	0.81	17.2	14.3	20.0	17.2	14.4	19.6
	2L	58	58	0.61	0.75	16.2	12.1	18.2	16.3	13.6	18.9
	全体	231	227	0.87	0.87	16.5	10.2	20.2	16.6	9.4	20.6
メークイン	M	61	59	0.95	0.64	14.7	9.1	18.5	14.8	10.4	19.0
	LM	60	59	0.93	0.64	15.0	8.8	19.0	15.1	10.9	19.3
	L	59	57	0.95	0.48	14.5	10.8	18.1	14.4	10.9	17.5
	2L	58	58	0.91	0.52	14.4	11.3	16.6	14.4	11.6	16.7
	全体	238	233	0.94	0.58	14.6	8.8	19.0	14.7	10.4	19.3
キタアカリ	M	60	60	0.90	0.98	16.0	8.0	20.3	16.1	9.2	20.7
	LM	60	59	0.95	0.60	15.9	10.3	20.2	16.1	11.3	20.4
	L	59	59	0.88	0.83	16.3	11.2	19.3	16.3	12.4	21.0
	2L	60	60	0.73	0.95	16.2	11.3	19.6	16.2	13.1	20.0
	全体	239	238	0.88	0.86	16.1	8.0	20.3	16.2	9.2	21.0

1) M,70 g以上100 g未満;LM,100 g以上120 g未満 ;L,120 g以上190 g未満;2L,190 g以上260 g未満

2) デンプン価は比重法による実測値



図IV-1-3 比重法によるジャガイモのデンプン価実測値と分光法によるデンプン価推定値の関係

ため、品種別に作成することで精度が良好になると判断した。検量線を作成した後、検量線評価用試料を用いて精度評価を行った結果、いずれの品種でも SEP は 1% 未満となり、推定精度の目標を達成できた。とりわけ、「メークイン」は他の 2 品種に比べ、非常に高い精度で測定できた。このことは、「メークイン」がよく揃った長楕円形であるとともに、コンベアの進行方向と塊茎の長径方向が平行になることで試料の揺れが少なく、測定距離が長く確保できたためと推察された。次に、ここで作成した検量線を用いて、以後の各種要因の異なる試料に及ぼす影響について評価を行った。

b. 繰り返し測定精度の評価

前項で作成した検量線を用い、本測定機器でのデンプ

ン価の繰り返し (10 回) 測定精度を品種および規格別に評価した。その結果、測定値の変動係数は「男爵薯」で 2.9 CV%、「メークイン」で 1.9 CV% および「キタアカリ」で 3.9 CV% であった (表IV-1-2)。このことから、いずれの品種でも測定値の変動が非常に少なく、測定の繰り返し精度は実用上問題ないと判断された。

c. 産地および土の付着状態が異なる試料の評価

各品種について、検量線作成用に供試した試料の産地と異なる 2 産地から試料を収集し、上記で作成した検量線を用い、産地の違いが推定精度へ及ぼす影響について評価した。その結果 (水洗処理なし)、全規格平均の SEP が「男爵薯」で 0.89% および 0.71%、「メークイン」で 0.67% および 0.79%、「キタアカリ」で 0.82% お

表IV-1-2 分光法によるデンプン価測定時の繰り返し精度

品 種	実測値 の範囲 (デンプン価%)	推定値 の範囲 (デンプン価%)	推定値の 変動係数 (CV%)
男爵薯	12.1~20.2	11.4~19.4	2.9
メークイン	11.6~18.1	10.7~17.7	1.9
キタアカリ	8.0~19.3	6.6~22.6	3.9

M~2Lの各規格毎にそれぞれ6試料を対象として、光センサーにより10回繰り返し測定して推定値を求め、推定値の変動係数を算出した。

表IV-1-3 産地および土の付着状態の違いが分光法によるデンプン価測定時の精度に及ぼす影響

	産地 A			産地 B		
	水洗 処理	評価用 試料数	SEP	水洗 処理	評価用 試料数	SEP
男爵薯	あり	199	0.81	あり	185	0.77
	なし	205	0.89	なし	191	0.71
	産地 C			産地 D		
	水洗 処理	評価用 試料数	SEP	水洗 処理	評価用 試料数	SEP
メークイン	あり	180	0.64	あり	194	0.61
	なし	187	0.67	なし	192	0.79
	産地 E			産地 F		
	水洗 処理	評価用 試料数	SEP	水洗 処理	評価用 試料数	SEP
キタアカリ	あり	226	0.78	あり	205	0.91
	なし	230	0.82	なし	205	0.95

よび 0.95%であった (表IV-1-3)。いずれの産地のものでも、SEP は 1%未満であったことから、産地の違いが推定値に及ぼす影響はわずかで、実用上問題ないと判断された。

また、水洗により付着土を除去した試料群を同様に測定し、土の付着状態の違いが推定精度に及ぼす影響について評価した。同じ産地で水洗処理の有無により精度を比較した結果、B産地の「男爵薯」を除いて、水洗処理のないものでわずかに SEP は大きかった (表IV-1-3)。しかしながら、水洗処理したものととの差は小さく、いずれも SEP は 1%未満であったことから、貯蔵施設からの出荷時に通常行われているブラシがけ処理が実施されているものでは、推定値に及ぼす影響は問題ない水準であると判断された。このことは、ブラシがけ処理により塊茎表面に付着する土のほとんどは除去され、わずかに認

められる程度であること、また、本報での測定方式が光源対向式拡散透過型でありごく薄い表層の影響を受けにくかったためと推察された。

#### d. 貯蔵期間が異なる試料の評価

ジャガイモは長期間にわたって供給する必要があるため、各産地の貯蔵庫で低温貯蔵される。このため、長期間の貯蔵がデンプン価推定値に及ぼす影響を評価する必要がある。4か月貯蔵後の試料を供試して光センサーによるデンプン価の測定を行った結果、収穫直後の試料を測定したもの (表IV-1-1) と比較して、「男爵薯」および「キタアカリ」では、いずれの規格においても SEP が 1%以上と大きくなり、精度の低下が認められた (表IV-1-4)。一方、「メークイン」では SEP がいずれの規格でも 1%未満で、精度の低下がほとんど認められなかった。4か月貯蔵後の「男爵薯」および「キタアカリ」において測定精度が低下した原因としては、糖含量等の内部成分の変化や肉質の軟化等の原因が考えられ、これら2品種については、検量線の再検討などの改善策が必要と判断された。

さらに、8か月貯蔵後の試料について、「男爵薯」では4か月貯蔵後の試料を測定した結果 (表IV-1-4) と比較していずれの規格においても SEP が大きく、精度の低下が認められた (表IV-1-5)。「キタアカリ」では4か月貯蔵のものに比べて精度の低下は認められなかった。長期貯蔵により「男爵薯」および「キタアカリ」ともにバイアス (実測値と推定値の差) が増大したため、測定精度が低下したと推察される。なお、「メークイン」は「男爵薯」に比べて、産地における貯蔵期間が短く、貯蔵8か月後の段階で道内主要産地において貯蔵物がないため供試しなかった。

このように「男爵薯」および「キタアカリ」では、収穫後の貯蔵を行っていない試料のみを母集団に作成した検量線では、長期貯蔵試料の測定精度が大きくなることが明らかとなった。そこで、長期貯蔵に伴うデンプン価測定の精度向上を目指し、4か月間貯蔵試料を検量線作成用の母集団に取り込んで新たに検量線の改訂を行った後、検量線評価用試料は8か月貯蔵試料を対象に、再度、精度評価を実施した。その結果、「男爵薯」、「キタアカリ」ともに、いずれの規格でも相関係数は向上し、標準誤差は1%未満に改善された (表IV-1-6)。

#### e. 品温が異なる試料の評価

ジャガイモのデンプン価測定時には、品温が異なる場合も考えられる。すなわち、収穫後、短期間のうちに出荷されるため低温貯蔵を行わないものおよび長期出荷のために低温貯蔵され貯蔵庫から出たばかりの低温のもの

表IV-1-4 4か月貯蔵後の試料の光センサー測定精度評価

品 種	規 格	評価用 試料数	相関係数 R	標準誤差 SEP.	評価用試料のデンプン価		
					平均値	最小値	最大値
男爵薯	M	120	0.88	1.00	14.5	10.5	18.8
	LM	120	0.86	1.03	15.0	10.6	18.4
	L	120	0.57	1.14	14.7	10.6	17.2
	2L	119	0.50	1.23	14.8	11.8	17.8
	全体	479	0.63	1.26	14.7	10.5	18.8
メークイン	M	112	0.92	0.75	14.5	11.1	18.6
	LM	119	0.93	0.68	14.5	9.3	18.6
	L	120	0.89	0.61	14.6	11.5	18.1
	2L	113	0.89	0.62	14.3	10.9	17.7
	全体	464	0.90	0.68	14.5	9.3	18.6
キタアカリ	M	120	0.81	1.53	14.7	8.9	23.0
	LM	120	0.72	1.55	15.8	9.2	25.3
	L	120	0.77	1.04	15.3	10.8	19.6
	2L	120	0.70	1.04	15.2	10.6	18.4
	全体	480	0.68	1.43	15.2	8.9	25.3

供試試料は、2002年9月収穫，2003年1月測定

表IV-1-5 8か月貯蔵後の試料の光センサー測定精度評価

品 種	規 格	評価用 試料数	相関係数 R	標準誤差 SEP.	バイ アス	評価用試料のデンプン価		
						平均値	最小値	最大値
男爵薯	M	120	0.822	1.14	2.54	15.0	9.7	18.5
	LM	116	0.692	1.10	3.39	15.8	11.0	20.3
	L	109	0.532	1.42	3.70	15.0	11.5	18.5
	2L	104	0.245	1.52	3.89	15.0	12.0	17.6
	全体	449	0.594	1.40	3.35	15.2	12.0	20.3
キタアカリ	M	118	0.809	1.36	0.67	14.9	9.1	19.3
	LM	115	0.776	1.52	1.03	15.3	8.2	21.0
	L	116	0.789	1.26	1.22	15.5	9.4	19.1
	2L	107	0.705	1.07	1.61	15.6	11.3	19.1
	全体	456	0.767	1.36	1.12	15.3	8.2	21.0

供試試料は、2002年9月収穫，2003年5月測定

表IV-1-6 8か月貯蔵後の試料の光センサー測定精度評価（検量線改訂後）

品 種	規 格	評価用 試料数	相関係数 R	標準誤差 SEP.	評価用試料のデンプン価		
					平均値	最小値	最大値
男爵薯	M	120	0.82	0.83	15.0	9.7	18.5
	LM	116	0.75	0.93	15.8	11.0	20.3
	L	109	0.77	0.93	15.0	11.5	18.5
	2L	104	0.76	0.99	15.0	12.0	17.6
	全体	449	0.82	0.92	15.2	12.0	20.3
キタアカリ	M	118	0.88	0.85	14.9	9.1	19.3
	LM	115	0.89	0.84	15.3	8.2	21.0
	L	116	0.87	0.84	15.5	9.4	19.1
	2L	107	0.76	0.88	15.6	11.3	19.1
	全体	456	0.86	0.85	15.3	8.2	21.0

供試試料は、2002年9月収穫，2003年5月測定



表IV-1-7 ジャガイモの品温が分光法によるデンプン価測定に及ぼす影響

品種	品温	評価用 試料数	SEP	デンプン価(%)	
				実測値	推定値
男爵薯	常温	73	0.95	16.3	16.4
	低温		0.96		16.6
メークイン	常温	79	0.63	14.5	14.3
	低温		0.60		14.6
キタアカリ	常温	70	0.97	14.6	14.3
	低温		0.91		14.5

常温(21.6℃), 低温(低温貯蔵庫内放置:2.5℃)

供試試料はM~2L

などが想定される。そこで、同一試料群を用いて、品温を常温(21.6℃)および低温(2.5℃)の2段階に設定して、デンプン価の推定精度に対する影響を検討した。その結果、いずれの品種においても、品温の違いによるデンプン価推定値の変化はごくわずかであった(表IV-1-7)。したがって、品温がデンプン価推定値に及ぼす影響は少ないと判断された。このことは、本センサー内の品温補償機能が有効に作用したためと考えられる(財団法人雑賀技術研究所, 1995)。すなわち、通常、品温の違いによりスペクトルは変化するが、測定したスペクトルに含まれる品温を示す特定波長の吸光度により解析ソフト上で補正することで、デンプン価推定値に及ぼす影響を抑制することができたと考えられる。

ジャガイモはデンプン価の高低により、調理・加工工程における物性が変化し、製品の品質に大きな変動が生

じることから、デンプン価の揃った原料ジャガイモの供給が望まれている。本研究では、光学的評価法によりジャガイモ塊茎のデンプン価の非破壊測定ができるとともに、選果ラインを組み合わせることにより、毎秒約3.3個の塊茎がデンプン価に応じて選別可能となることが示された(コンベア速度50 m/min.で試料間隔25 cmの場合)。なお、既存の選果ラインシステムとのリンクにより、塊茎の仕分けは、デンプン価範囲および仕分けライン数とも任意に設定可能である。このことにより、本装置を導入した場合、産地ではデンプン価のばらつきによるクレームの減少、用途に応じた出荷による高付加価値および産地評価の向上等が、実需者サイドでは製品品質の安定化および受け入れ原料の歩留まり向上等が期待される。

## IV-2. ダイコンの内部障害の非破壊計測法

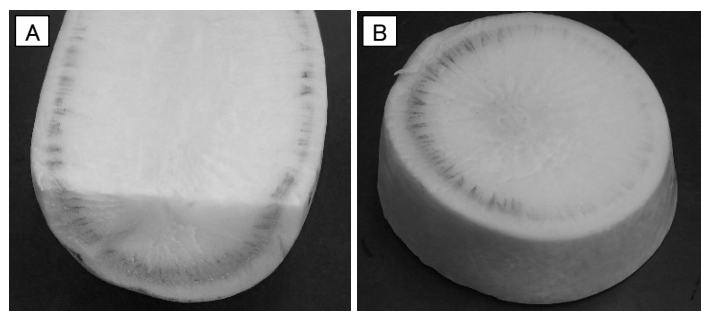
ダイコンの難防除病害であるパーティシリウム黒点病は、北海道内でも広く発生し（表IV-2-1）、根部には維管束の黒変症状が発現する（図IV-2-1）。その症状は外観で判別することが困難なため、選果受け入れ時に各ロット（搬入用コンテナ約500本入り）から5～15本を抜き取り、根部を切断して内部検査を実施している（図IV-2-2）。しかしながら、全量検査ではないため本症状のあるダイコンを含むロットが選果場での検査を通過し

て流通され、クレームが発生する事例がある。一方、抜き取り検査で不合格となり、全量廃棄となるロットにも健全なダイコンが含まれ、生産物の損失につながる。その対策として、内部障害が検出できる非破壊計測装置を選果ラインに組み込み、全量検査を行うのが有効と考えられる。そこで本章では、可視・近赤外分光法を用いて、ダイコンのパーティシリウム黒点病症状を選果ライン上で連続的に計測・選別する方法を検討した。

表IV-2-1 北海道内のパーティシリウム黒点病の発生実態

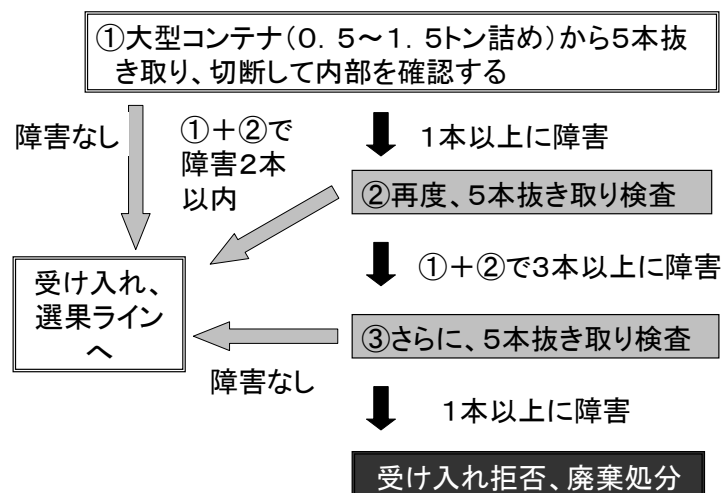
調査圃場数	発生株率該当ほ場数			
	0%	～10%	～20%	>20%
107	67 (63)	15 (14)	9 (8)	15 (14)

( )内は圃場数の割合(%)を示す  
(北海道農業試験会議資料, 2000)



図IV-2-1 ダイコンのパーティシリウム黒点病症状

A:首～胴部の縦断面。表皮内側の維管束に黒変症状が見られる  
B:首部の横断面。維管束にリング状の黒変症状が見られる



図IV-2-2 ダイコン選果場における受け入れ時内部障害検査の実例  
(北海道内A産地)

#### IV-2-1. 材料および方法

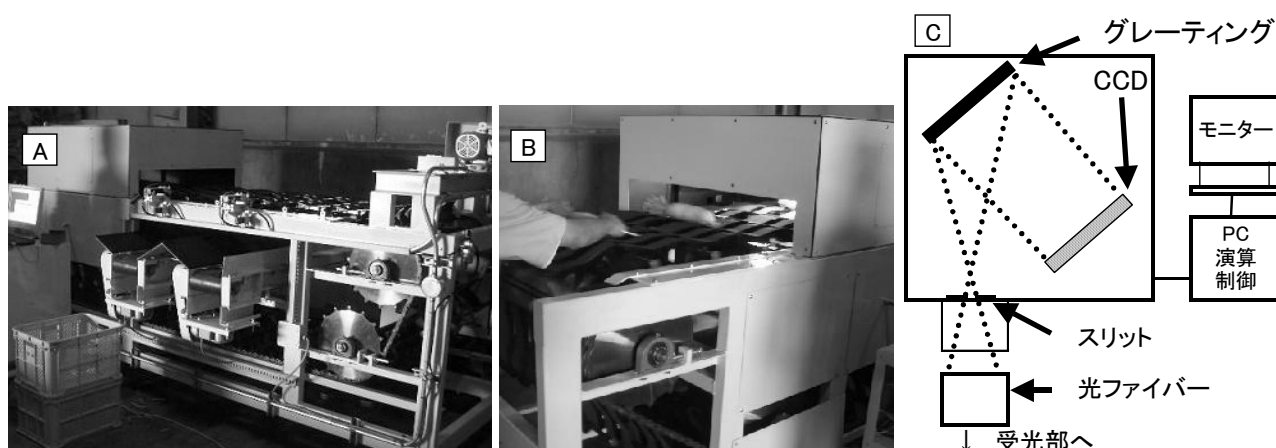
##### a. 供試試料

供試試料は、北海道内産地で収穫された「夏つかさ」（2008年8月7日および12日の2回採取）140点および「夏つかさ旬」, 「桜坂」, 「春のぞみ」（2009年7月22日および8月3日の2回採取）285点で、選果場においてパーティシリウム黒点病症状が確認された複数のロットから採取した。測定前処理は通常の選果行程と同様に、茎葉を長さ10 cmに切り揃え、根部を水洗した。その後、個々の供試試料が判別できるように、あらかじめ茎葉部に識別番号を記入したラベルを装着した。スペクトルおよび発病程度の計測は収穫翌日に行った。

##### b. 計測機器およびスペクトル測定方法

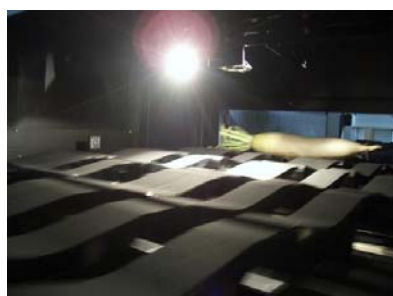
試料搬送コンベア1系統・選別用コンベア2系統および光源と受光部からなるセンサーボックスで構成する計測機器を試作した（図IV-2-3）。コンベアは、ダイコン試料が安定するように中央に窪みを付けたV字型バケットを23 cmピッチで連結した構造であり、計測に際し

て、ダイコンは進行方向に対して横向き、すなわち、ダイコンの長軸方向とコンベア進行方向が直交するように置かれる（図IV-2-3B）。ダイコンを人手により各バケット上に置き、毎分11 mの搬送速度でセンサーボックスへ供給した。計測方式は、反射光では表皮直下のごく浅い部分の評価にとどまり内部症状計測の精度が劣ることが想定されたため、透過光を計測することとした。光源は50 Wハロゲンランプ2灯で、外部光を遮断したセンサーボックス内の上部に装着し、それぞれダイコン上面の首側と尻側から照射するように設置した（図IV-2-4）。受光部は、ダイコン下面の中央部から透過光を受光できる位置のコンベア下部に設置した。分光器は、受光部から光ファイバーを経由した光をスリット通過させ、グレーティングにより分光した後、CCDで受光して光強度を計測する構造とした（図IV-2-3C）。スペクトル測定は、コンベア上で連続的に試料を搬送しながら、可視および近赤外領域（測定波長範囲450～1,000 nm）の透過光スペクトルを計測した。



図IV-2-3 ダイコン搬送用コンベアを装備した内部品質計測・選別機

- A: 試料排出側からの機器外観。左側の白いボックスがセンサー部分。上部の搬送用コンベアに直交して、下部に2系統の排出ラインを付属
- B: 試料搬入側の機器外観
- C: センサー構造の模式図



図IV-2-4 光センサー内部

上部に50Wのハロゲンランプ2灯を設置し、コンベア下に受光部を設置。受光部は光ファイバーでCCDセンサーと接続した。

c. 発病程度の指数化

スペクトル測定後のダイコンを切断して発病程度を目視により指数化した。すなわち、パーティシリウム黒点病症状は首部を中心に発現し、しだいに尻部へ拡大するため、首部を包丁で輪切りにし、切断面の黒点病症状を観察により指数化した（図IV-2-5）。指数は、無症状（0）、維管束の黒点がわずかで切断面の半周未満に発現（1）、維管束の黒点が半周以上に発現（2）、維管束の黒点が全周に明確に発現（3）の4段階とした。

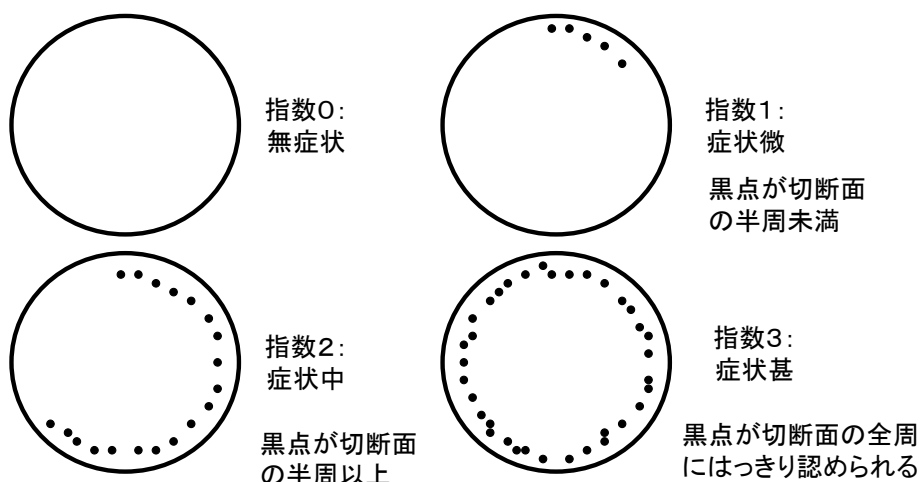
d. 検量線作成および評価

試料を検量線作成用（2008年70点、2009年148点）と検量線評価用（2008年70点、2009年137点）2群に分け（表IV-2-2）、検量線作成用試料を用いて透過光2次微分スペクトルと発病指数からPLS回帰分析により検量線を作成した。その後、他群を検量線評価用として、その2次微分スペクトルから発病指数の推定値を算出し、相関係数（R）および予測標準誤差（SEP、推定値と目

視による評点の残差の標準偏差）から計測精度を評価した。

IV-2-2. 結果および考察

パーティシリウム黒点病症状は、主に維管束の黒変に加え、感染による水分およびその他の内部成分含量の変化も想定されたため、可視～近赤外領域の波長を計測することとした。パーティシリウム黒点病の発病指数が広く分布する試料群を供試し（表IV-2-2）、スペクトル計測を行った。その結果、透過光2次微分スペクトルの主な極小ピークは560, 740, 840 nm付近、極大ピークは580, 720, 820 nm付近に認められた（図IV-2-6）。この時、発病指数が0および3の試料間のスペクトルを比較すると、両者に明確な違いが認められた。すなわち、スペクトルの主要なピークにおける吸光度の絶対値は、発病指数が0のものに比べ3の試料で小さかった。



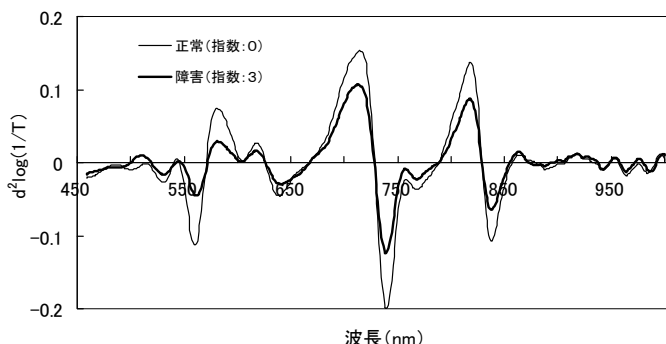
図IV-2-5 パーティシリウム黒点病の障害程度実測値

首部を切断し、断面の黒点発現状態により指数化した。

表IV-2-2 供試試料における発病指数の分布

試験年次	供試試料の用途	発病指数				計
		0	1	2	3	
2008	検量線作成用	18	13	28	11	70
	検量線評価用	17	14	27	12	70
2009	検量線作成用	14	22	54	58	148
	検量線評価用	12	21	50	54	137

表中の数字は供試個体数



図IV-2-6 パーティシリウム黒点病の発病指数の異なるダイコンの透過光2次微分スペクトル

検量線作成用試料を計測して得られた 450 ～ 1,000 nm の吸光度を 2 次微分処理し、その波長範囲の 1 nm ごとのすべての値と目視による発病指数をもとに、PLS 回帰分析により検量線を作成した。なお、検量線作成および評価は、各年次ごとの試料を対象に行った。その結果、2008 年および 2009 年の検量線作成用試料において、相関係数 (R) はそれぞれ 0.979 および 0.941 であり、いずれも 0.1% 水準で有意であった (図 IV-2-7A, C)。また、検量線標準誤差 (SEC) はそれぞれ 0.211 および 0.329 であった。この検量線を用いて、評価用試料の 2 次微分スペクトルから発病指数の推定値を算出した結果、2008 年および 2009 年において、それぞれ R は 0.958 および 0.880 (0.1% 水準で有意差あり)、予測標準誤差 (SEP) は 0.299 および 0.472 であった (図 IV-2-7B, D)。これらのことから、本法により各段階の発病指数を精度良く

計測ることが可能と判断された。

本試作機では発病指数による選別、すなわち出荷用ラインと除外用ラインへの振り分け制御を任意の発病指数 (推定値) で設定できる。そのため、2008 年の評価用試料群を対象に、「推定値 1」を閾値として症状の有無を判定すると、発病指数 0 (無症状) の試料は 100% 「症状なし」、発病指数 1 以上の試料は 91%、発病指数 2 以上の試料は 100% が「症状あり」と判定できる (図 IV-2-7B)。また、発病指数 0 の試料の内、推定値が最高値を示した試料の「推定値 0.72」に閾値を設定した場合、発病指数 1 以上の試料は 98% が「症状あり」と判定できる。一方、2009 年の評価用試料群を対象に、「推定値 1」を閾値として症状の有無を判定すると、発病指数 0 (無症状) の試料は 100% 「症状なし」、発病指数 1 以上の試料は 96%、発病指数 2 以上の試料は 100% が

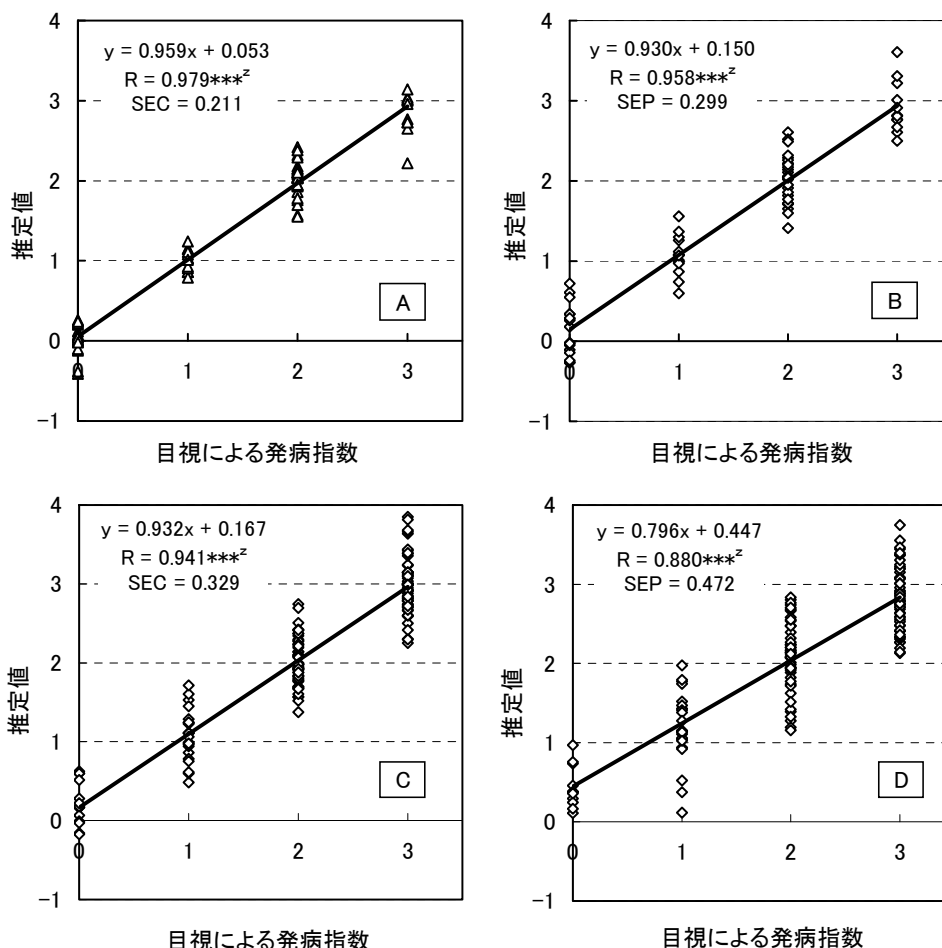


図 IV-2-7 検量線作成用試料および評価用試料の目視による発病指数と発病指数推定値との関係

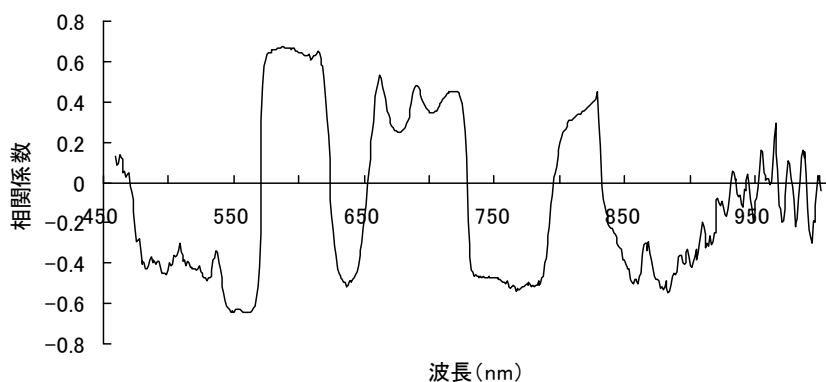
z\*\*\*は0.1%水準で有意差あり

A: 2008年 検量線作成用試料, B: 2008年 検量線評価用試料

C: 2009年 検量線作成用試料, D: 2009年 検量線評価用試料

表IV-2-3 品温が光センサーによる発病指数の推定精度に及ぼす影響

品温	相関係数 R	標準誤差 SEP	供試試料 点数	実測値		推定値	
				平均値	平均値	最小値	最大値
常温(20℃)	0.877	0.481	52	1.65	1.72	0.11	3.22
低温(5℃)	0.917	0.410			2.00	-0.12	4.18



図IV-2-8 発病指数推定値と各波長毎の吸光度の相関関係

「症状あり」と判定できる(図IV-2-7D)。メロンにおける生理障害果の非破壊計測では正答率が83%(伊藤, 2007), ナツダイダイにおけるス上がり果では全階級対象で正答率が最高91%(鈴木・石田, 1979)であった。これら他品目で検討された知見と比較しても, 本研究での結果は同等以上の精度であると判断された。

ダイコンが収穫され, 選果場に運搬され, 洗浄後, 選果までの間, 外気や水洗などの各種温度変化にさらされることが想定される。このため, 試料の品温が光センサーによる測定精度に及ぼす影響を検討した(表IV-2-3)。同一の試料群52点について, 常温(20℃)でスペクトル測定した後, 低温庫で一晩放置して品温を低温(5℃)にし, 再度スペクトル測定し, 実測値を測定した。その結果, 低温条件の場合においても, 常温に比べて測定精度, すなわち相関係数および標準誤差ともに, 低下することはなかった。したがって, 5～20℃の範囲では, 本法における測定精度は問題になることはないと考えられた。

現地の選果場では, 約500本のダイコンが入った大型コンテナからわずか5～15本の抜き取り検査により受け入れ可否を決定し, 基準以上の内部障害が認められたロットはすべて廃棄処分としている。しかしながら, 同一ロット内での内部障害発生はダイコン一本一本で必ずしも均一ではない。このため, 抜き取り検査で受け入れ基準を満たしたロットに, 内部障害のあるものが混入す

ることも危惧される。一方, 抜き取り検査で廃棄処分となるロットにも健全なものが含まれることが想定され, これは生産物の損失につながる。本研究で開発した全量検査のシステムを利用できれば, パーティシリウム黒点病症状のあるダイコンは一本一本, わずかな症状でも検出, 除去が可能であり, とりわけ発病指数が2以上のものの混入はほとんど生じないと考えられる。

発病指数の計測にあたって, 2次微分スペクトルのどの波長の吸光度が推定値と相関が高いかを検討した。その結果, 最も正の相関が高かった波長帯は580～610nm付近で, 最も負の相関が高かった波長帯は550～560nm付近であり, いずれも可視光域であった(図IV-2-8)。本症状が肉眼で観察可能な維管束の黒変であることから, 可視光域の吸収と相関が高くなったと推定される。果実類の糖含量などの非破壊計測では近赤外領域の吸収スペクトルが利用される例が多いが(Kawanoら, 1992, 1993; 伊豫・河野, 2001; 大場ら, 2001; 伊藤, 2007), ナツダイダイのス上がり果判定では可視および近赤外領域の吸光度が利用されており(鈴木・石田, 1979), パイナップルの熟度および内部罹病果の判定では透過光の輝度が利用されている(大森, 2003)。これらの知見と合わせ, 前述のとおりパーティシリウム黒点病の発病指数は可視光領域の吸光度と相関が高かったことから, 今後, 障害部位に着色を伴う内部障害の非破壊評価では可視光域での吸収スペクトル計測も重要になる

と推察される。一方、可視光域の吸収と発病指数の相関が高かったことから、根表面の付着土の影響も懸念されるが、通常のダイコン選果システムでは収穫物の受け入れ直後に水洗され、その後にラインへ搬送されるため、発病指数の推定精度に大きな影響は及ぼさないと考えられる。

以上のように、可視・近赤外分光法により、ダイコンのパーティシリウム黒点病症状を選果ライン上で連続的に精度良く非破壊計測および選別できることが示唆され

た。また、供試試料の搬送に用いたコンベアの運転速度は、既存のダイコン選果場のものに匹敵する分速 11 m であることから選果効率上の問題もないと判断された。今後、実用化に当たって品種、作期および産地が異なる試料での評価精度の確認も必要と考えられる。また、本症状以外に年次・収穫時期毎に時折発生する外観判別困難な内部障害についても非破壊計測法が検討され、総合的な品質計測・選別システムとして確立されることが期待される。

## 第V章 総合考察

国内における農業総産出額のうち、野菜の産出額は約25%と重要な位置を占める（農林水産省，2008）。しかしながら、国内の野菜生産は、安価な輸入野菜の増加により減少傾向にある（農林水産省，2009b）。今後、国内の野菜生産の維持・向上を図るためには、より高品質な生産物の安定供給により実需および消費者理解を得ることが重要である。そのためには、「育種」から「栽培」、「流通」、「加工」および「消費」に至る各段階での品質評価法および品質向上技術の検討が必要となる。こうした取り組みにより、高品質をキーワードとした品種、安定生産技術および流通・加工技術が開発され、総合的な高品質野菜の供給が可能となり、国内における野菜生産振興に寄与できると考えられる。

本研究では、日本国内での生産量をもっとも多い野菜3品目、すなわち、ジャガイモ、ダイコンおよびキャベツに加え、果実の野菜の中で最も生産量の多いスイカを対象として、品質評価法およびその変動要因について詳細な検討を行った。これらの品目で重要な品質項目は、ジャガイモでは「デンプン価」、ダイコンでは「テクスチャー」および「内部障害」の有無、キャベツでは「栄養・機能性成分」および「テクスチャー」、スイカでは「糖度」と考えられることから、本研究では主にこれらの項目を中心に検討した。第II章では「品質向上のための栽培法」、第III章では「調理・加工適性向上のための品質評価法」および第IV章では「内部品質の非破壊評価法」の構成とした。

### 第II章 野菜類の品質向上のための栽培法の確立

野菜の品質向上のためには、第一に生産現場における品質向上を目指した栽培への取り組みが重要である。品質向上のための栽培法について、緒論で示したとおり、ジャガイモおよびダイコンに関連する成果は多くの知見があるため、ここでは新たな検討を行わず、キャベツとスイカの品質向上に着目して検討した。

#### II-1. キャベツの内部成分含量の変動に及ぼす各種栽培環境要因

キャベツは1人あたりの年間購入量が5.0 kgと多く（北海道青果物価格安定基金協会，2001）、生で摂取する事も多いため、ビタミン類の摂取源として重要である。とりわけ、ビタミンC摂取源としての重要度は全野菜中第1位と試算される（小宮山ら，1999）。さらに、特長的な成分として、消化器官での抗潰瘍作用（Cheney，1950）および胃粘膜保護作用（岡部ら，1996：Watanabe

ら，1996）を有するビタミンUが含まれる。これらの成分の分析方法は既知であるが（石井，1991：瀧川・石井，1996）、その含有率の変動実態や栽培上の変動要因については検討例が極めて少ない。そこで、キャベツのビタミンCおよびビタミンU含有率の栽培上の変動要因を明らかにし、その向上策について検討した。

北海道産キャベツの主な作型でビタミンC含有率を調査したところ、その含有率は収穫時期により変動し、収穫期の気温が高い時期にはやや低下し、気温が低下する秋季では上昇した。低温条件でビタミンC含有率が高まる現象は、北海道外（辻村ら，1997）およびハウレンソウ（目黒ら，1991）でも認められている。また、キャベツのビタミンC含有率は、収穫前5日間の平均気温と負の相関が認められている（渡邊，1993）。このように、ビタミンC含有率が収穫期の温度条件に密接に関連していると思われるが、その機作は明確にされていない。ビタミンCは、植物においてD-グルコースを出発物質として生合成される（米山・建部，1992）ことから、夜間の気温が高い夏季には呼吸ロスによりグルコースの蓄積量が低下し、ビタミンC含有率の低下要因となると推察された。

道産キャベツのビタミンC含有率の平均値は、食品成分表の値410 mg kg<sup>-1</sup>と比べて低いことが判明したため、栽培面からビタミンC含有率の変動要因を明らかにするとともに、その向上技術の検討が必要と思われる。ビタミンC含有率は結球肥大に伴って徐々に減少し、収穫適期には結球開始時の1/2未満となり、その後も漸減傾向にあった。このことは、結球部が肥大に伴い光合成器官としてよりも貯蔵器官としての役割が相対的に増大し、光合成能の抑制により過酸化物質の生成も抑制されるため、抗酸化物質であるビタミンC含有率が減少するものと推察される。収穫時期が遅くなるとビタミンC含有率が低下することから、適切な時期に収穫し、結球重量が出荷規格を満たした範囲内でやや小振りものを収穫することがビタミンC含有率向上に有効であることが示唆された。

窒素施用量とビタミンC含有率との関係について検討した結果、窒素施用量が多くなるにしたがって、ビタミンC含有率は低下する傾向にあった。この傾向は、ハウレンソウ（張ら，1990：目黒ら，1991）、ハウレンソウとコマツナ（建部ら，1995）、レタス（中村，1996）およびチンゲンサイ（池羽ら，2005）の葉菜類でも報告されている。したがって、ビタミンC含有率向



上のためには、過剰な窒素施用を避け、北海道施肥ガイド（北海道農政部編，2002）に基づいた適切な窒素施肥を実施する必要がある。

ビタミン U について、北海道産の 7～10 月どりキャベツを対象に調査した結果、(1) ビタミン U 含有率は、秋どりよりも夏どり作型で高まる傾向にある、(2) 窒素施用量が多いほどビタミン U 含有率は高まる、(3) 同じ窒素施用量では緩効性の有機質肥料に比べ速効性のものを施用した場合にビタミン U 含有率は高まる、(4) 土壌からの窒素供給量が多い圃場でビタミン U 含有率が高まる、(5) ビタミン U 生産効率の高い窒素供給時期は、生育中期から後期であることが明らかとなった。窒素施用量との関係に関して、キャベツ（古館・目黒，2002；矢野・小濱，1983）、ジャガイモ（古館・目黒，2001）およびチャ（Okano ら，1997）では窒素増肥による総遊離アミノ酸含有率の上昇が認められている。ビタミン U も遊離アミノ酸の一つであることから、窒素代謝の過程で窒素吸収量に依存して蓄積量が高まったと推察される。このように、ビタミン U 含有率は窒素栄養条件によって大きく変動することが示唆された。すなわち、夏どりでは秋どりに比べて、ビタミン U 生産効率の高い生育中期から後期の地温が高いため土壌からの窒素供給量が多いこと、また夏どりの方が降水量が少ないために土壌無機態窒素の流亡が少なく、窒素吸収量および施肥窒素利用率が高いこと（小野寺ら，2000）によると推察される。

以上のように、キャベツのビタミン U 含有率は窒素栄養条件により変動するため、耕種的な向上方策が可能と考えられた。今後、さらなるビタミン U 含有率の向上のためには、効率的な時期に窒素供給ができる肥効調節型肥料の探索および分追肥の比率を考慮した窒素施肥法などの検討も必要と考えられる。

## II-2. スイカの品質（果実糖度）に及ぼす窒素施肥形態の影響

果実糖度はスイカの主要な品質項目であり、各産地では糖度基準を設定して、これに達しないものは規格外となる。多くの産地では、受け入れロット毎の抜き取り検査あるいは選果ライン上での全量非破壊検査を実施している。後者については、近赤外分光法による糖度計測（伊藤ら，1999）、レーザーによる糖度計測（嶋村ら，1999）および打音による空洞の検出（栗原，2003）などの知見が活用されている。スイカの品質向上のためには、選果段階での品質評価に加え、栽培段階での品質向上も重要である。近年、生産現場では有機質肥料施用による減化学肥料栽培に関心が高まっており、有機質肥料の施

用方法に関する知見が求められている。しかしながら、有機質肥料の施用とスイカの品質との関係について検討した例は見あたらず、化学肥料を有機質肥料に代替して施用した場合、その肥効の違いから品質を低下させる懸念がある。そこで、スイカの品質向上のための有機質肥料の施用について、有機質肥料の窒素無機化特性およびスイカの窒素吸収特性から評価し、高品質を維持した効率的な有機質肥料の施用方法を検討した。

有機質肥料を化学肥料窒素の代替として施用し、スイカの栽培試験を行った結果、果実糖度および収量は窒素無機化の早い（速効性）「ダイズ油かす」、「魚かす」および「ナタネ油かす」で優り、窒素無機化の遅い（緩効性）「乾燥鶏ふん」および「発酵鶏ふん」で劣った。また、スイカの窒素吸収特性について検討した結果、品質および収量を向上させるための好適窒素供給時期は、定植から果実肥大前期までであることが判明した。以上のスイカの好適窒素供給時期と有機質肥料の窒素無機化特性を勘案すると、速効性の有機質肥料と緩効性の有機質肥料の肥効の違いは次のように考察された。すなわち、速効性の有機質肥料は、好適窒素供給時期である果実肥大前期（トンネル作型では定植後 50～60 日）までに大部分の有機態窒素が無機化されてスイカに吸収されるために、化学肥料とほぼ同等の肥効を示した。一方、緩効性の有機質肥料は、スイカの生育にとって重要な果実肥大前期までに有機態窒素の無機化が相対的に少なく、窒素供給が十分でないために、果実収量および糖度の低下をもたらすと考えられた。

さらに、窒素肥沃度の異なる圃場において、窒素無機化速度の異なる有機質肥料により減化学肥料栽培を行った結果、窒素肥沃度の高い圃場では、いずれの有機質肥料系列も化学肥料とほぼ同等の果実収量および糖度を示した。一方、窒素肥沃度の低い圃場においては、緩効性の乾燥鶏ふんでは果実収量および糖度ともに低くなった。これらのことから、スイカに対して有機質肥料主体に施肥する場合、速効性の有機質肥料では窒素が有効に利用されるために、圃場の窒素肥沃度にかかわらず、生育・収量が化学肥料と同等に維持されると思われた。一方、緩効性の有機質肥料では特に窒素地力の低い圃場において生育・収量の劣ることが示唆された。この理由として、窒素肥沃度の高い圃場では土壌からの窒素供給が早い時期から行われるため、緩効性の有機質肥料を施用しても生育初期に十分な窒素供給が可能であり、高い収量および品質を確保できたと推察される。一方、窒素肥沃度の低い圃場に緩効性の有機質肥料を施用すると、スイカの好適窒素供給時期に供給される土壌由来および有機質肥

料由来の無機態窒素量が少なくなるため、生育遅延、収穫果数の減少および果実肥大の抑制をもたらす、収量および糖度が低下すると考えられた。

以上の知見から、収量および品質を維持した有機質肥料主体施肥によるスイカの減化学肥料栽培の要点を明らかにした。すなわち、速効性の有機質肥料は化学肥料とほぼ同等の肥効を示すことから、圃場の窒素肥沃度を問わず窒素化学肥料の代替として使用可能である。一方、緩効性の有機質肥料は、窒素肥沃度の低い圃場では収量および品質低下が懸念されるため、主体施用は行わず化学肥料との併用が望ましい。なお、過剰な窒素施肥条件では、着果不良および果実糖度の低下を引き起こす事例（北海道原子力環境センター，1990）があるので、有機質肥料であっても過剰施用とならないよう留意する必要がある。有機質肥料は原料および加工方法により窒素無機化特性が異なるため、速効性・緩効性の性質を把握した上で、目的に応じた有効活用が期待される。

### 第三章 野菜類の調理・加工適性向上のための評価法の確立

調理・加工適性に優れた野菜を供給するためには、それらに影響を及ぼす要因の解析や客観的な品質評価法の開発が重要である。すなわち、それらの知見や手法が、野菜生産場面へ還元されることにより、高品質な品種の開発および品質向上のための栽培法確立に寄与するとともに、流通・加工場面における用途に応じた品質基準による仕分け利用および非破壊品質評価法による選別技術開発への活用により、総合的な品質向上が図られる。ここでは、ジャガイモのデンプン価と調理・加工適性の関係、ダイコンおよびキャベツのテクスチャー評価法と調理・加工による変動について検討した。

#### III-1. ジャガイモのデンプン価が調理・加工特性に及ぼす影響

生食用ジャガイモにおいて、デンプン価は調理・加工適性や食味に大きな影響を及ぼす最も重要な品質項目であり、それにより煮熟後の硬さ、肉質および煮くずれ等の特性が変化する（佐藤ら，1991：古館・目黒，1997：小原ら，1997：Matsuura-Endo ら，2002a，2002b）。ジャガイモには多くの調理・加工法が存在し、それぞれに食味あるいは加工適性上、好適なデンプン価があると思われるが、そうした検討例は見当たらない。調理・加工法ごとに好適なデンプン価が明らかとなれば、それに基づいた原材料を使用することにより、調理・加工適性および食味といった品質の向上が図られると考えられる。そこで、ジャガイモのデンプン価の違いが調理・加工特性

に及ぼす影響について調理方法ごとに検討し、その適正な範囲を提案した。

個々の塊茎ごとにジャガイモのデンプン価を調査した結果、同一品種での産地間差、同一圃場での株間差および同一株での塊茎間差といった各段階で変動することが明らかとなった。すなわち、通常に流通しているジャガイモのデンプン価は不揃いであり、時折発生する「硬くて煮えにくい」、「煮くずれすぎる」、「ほくほく感がなく水っぽい」といった品質上のクレームは、デンプン価が極端にばらついた場合に発生するすると考えられる。

デンプン価を低「12%」、標準「14%」、高「16%」に3区分した塊茎をそれぞれの方法で調理した後、食味特性を官能により評価した結果、「粉ふきいも」、「ふかしいも」および「フライドポテト」では、デンプン価の高いもので軟らかく、ほくほく感に富み、食味評価が高い傾向にあった。これらの調理法では、ジャガイモの軟らかくほくほくした食感が重視されるため、デンプン価の高いもので評価が高くなったと考えられる。これに対して、「肉じゃが」および「カレー」では、デンプン価の低いもので食味評価が高い傾向にあった。「肉じゃが」では適度な硬さと煮くずれの少ないことが、「カレー」では煮くずれの少ないことが重視されることから、デンプン価の低いものの評価が高くなったと考えられる。

以上のように、ジャガイモは生産段階でデンプン価にばらつきが生ずること、およびデンプン価によって調理特性が異なることが明らかとなった。一般に、デンプン価の高い塊茎はほくほく感に富み、好まれることが多い。本試験においても、粉ふきいも、ふかしいも、フライドポテトの調理法ではやや高デンプン価（14～16%）の塊茎の評価が高かった。しかしながら、煮込み調理では、煮くずれの少なさからやや低デンプン価（12～14%）の塊茎の評価が高いことも判明した。これらを取りまとめ、各調理方法ごとに調理・加工適性および食味を評価する上で、好適なデンプン価を明らかにした。調理法に応じて、好適なデンプン価のジャガイモを使用することにより、調理加工特性および食味の面からの品質向上が期待される。一方、ジャガイモはその生育特性上、塊茎ごとのデンプン価が変動するため、デンプン価の揃った塊茎を供給することが困難である。このため、第IV章-1では、選果レベルで適用できるジャガイモのデンプン価の非破壊計測法について検討した。

#### III-2. ダイコンのテクスチャー評価法と加工による変化

ダイコンの品質評価において、テクスチャーは食味や調理・加工適性を左右する重要な指標であり、サラダ等の生食用のみならず塩漬け、煮熟後の硬さおよび煮くず

れ等の特性に影響を及ぼす。これまで、ダイコンのテクスチャーについて、品種間差や生および煮物の試料を客観的に評価する方法は確立されていなかった。そこで本研究では、生、浅漬けおよび煮熟により加工したダイコンのテクスチャーを対象に、官能評価と整合性の高い客観的評価法を検討した。あわせて、調理・加工に伴う物性変化の品種間差異およびダイコンの硬さとペクチンの関係についても検討した。

物性測定機器（テクスチャーアナライザー）を用いて、生のダイコンのテクスチャー測定時の最適条件を検討した結果、根部の最上端および表皮直下の部位を避けてディスク試料（直径 10mm、厚さ 5mm）を調製し、直径 25mm 円筒型プローブで圧縮率 70 %まで圧縮し、破断時の最大荷重を測定する方法が最適と判断された。異なる品種から調製した試料を測定した結果、破断時荷重値は官能評価での硬さ評価と一致し、品種の特性も反映していた。平本・松本（1992）は、ニードル型プランジャーをダイコン試料に貫入させた時の抵抗値から客観的評価を試みたが、生（サラダ）における硬さ官能評価値との関係性は見出せなかった。これは、実際の咀嚼時には生じない貫入という運動を対象にしたためと推察される。これに対し、本研究で実施した破断時荷重は、咀嚼により試料を破壊するときに生じる物性であることから、官能評価による硬さ評価と整合性が認められたと考えられる。

浅漬けについては、各品種ごとに塩水浮かし漬けで加工した後、上記の生と同様の方法でディスク試料の破断時荷重を測定した。その結果、機器による破断時荷重値と官能による硬さ評価は一致した。したがって、浅漬けにおいても、生と同様に破断法による硬さの評価が可能であると判断された。また、浅漬け後のダイコンの硬さについて、試料間に 13 N 程度の破断時荷重の差があれば、官能により硬さの差を明確に識別可能であることも判明した。野菜の食味構成要素の中でも非常に重要な項目であるテクスチャーは、細胞壁の化学的構造も大きな影響を及ぼす（田村、1995）。本研究において、内部成分とテクスチャーの関係を精査したところ、生および浅漬けのいずれでも、不溶性ペクチン（ヘキサメタリン酸可溶性ペクチンと塩酸可溶性ペクチン）、全ペクチンおよび AIS 含有率と破断時荷重との間に有意な正の相関が認められた。金子ら（1982b, 1983）の報告では、加工過程でのヘキサメタリン酸可溶性ペクチンの比率が塩漬け後の硬さに影響を及ぼしていることを指摘しているが、本研究では、ペクチンに加えて AIS 含有率についても、破断時荷重との有意な正の相関関係が認められた。

煮物調理においても、ディスク試料をオートクレーブで煮熟した後に、上記と同様の破断時荷重を測定することにより、官能評価と整合性の高い硬さの客観的評価ができた。また、品種間の測定値から、煮熟後のダイコンの硬さについて、破断時荷重に 0.5N 程度の差があれば、官能により硬さの差を明確に識別可能であることが明らかとなった。さらに、煮熟後のテクスチャーについてもペクチン含量との関係を検討した結果、煮熟後の破断時荷重と不溶性（ヘキサメタリン酸および塩酸可溶性）ペクチン含量には高い正の相関が認められた。ダイコンのほか、ジャガイモ（佐藤ら、1998）、メロン（平井ら、2007）およびキュウリ（桑原ら、1985）においても、その硬さとペクチンの関係が見いだされている。今後は、テクスチャーの評価、とりわけ品種毎の硬さ評価およびスクリーニングなどに、物性測定だけでなく、化学的手法（ペクチンおよび AIS の定量）の適用も期待される。

以上のように、異なる作型や年次にわたる多点数のダイコン試料について、同一条件下で硬さを比較評価することが可能となった。さらに、破断法を用いることにより、生、浅漬けおよび煮熟試料についても硬さの評価法として活用できると考えられる。今後、本評価法が、各用途におけるダイコンの品質向上を目指した新品種育成、栽培・貯蔵・加工技術研究に活用され、総合的な品質向上が図られることを期待したい。

### III-3. キャベツのテクスチャー評価法と加工による変動

キャベツでは、前述の栄養・機能性ととともに、嗜好性に大きな影響を及ぼすテクスチャーが重要な品質項目の一つである。今後、新品種開発を始め、栽培および調理・加工段階でのキャベツの品質向上を図る上で、テクスチャーの客観的評価法の確立は重要となる。ここでは、キャベツ食味評価において最も重要視されるテクスチャーを対象に、物性測定機器による客観的評価法の検討を行った。

テクスチャーアナライザによる「硬さ」および「歯切れ」の評価のため、貫入時荷重および圧縮時荷重の測定を行った。貫入時荷重は、キャベツ試料を円筒型プローブで圧縮し、その先端が試料の裏側に突き抜ける瞬間の荷重とした。圧縮時荷重は、キャベツ試料をボルトケッチバイトジョーの上下のブレードで圧縮した時の最大荷重とした。千切りキャベツについて、「硬さ」および「歯切れ」の官能評価と貫入時荷重および圧縮時荷重は整合性が高く、官能検査でより「硬く」、より「歯切れが悪い」と評価されたものほど、いずれの荷重値も高い値を示した。官能評価およびテクスチャーアナライザによる荷重値の結果から、生のキャベツの場合、貫入時

荷重で 50g 以上、圧縮時荷重で 250g 以上の差があればテクスチャーの違いが感知できることが明らかとなった。さらに、生キャベツの標準的な「硬さ」は貫入時荷重で 230g 程度、「歯切れ」は圧縮時荷重で 1020g 程度と考えられた。さらに、千切りキャベツの多汁性評価のため、多汁性の官能評価値と溢出水率の関係について検討した結果、多汁性の官能評価とみじん切りにしたキャベツを圧縮したときの搾汁量とは高い整合性が認められた。したがって、生キャベツの多汁性評価には、溢出水率を指標にすることができると考えられた。

以上で述べた客観的評価法により、作型、年次および栽培法が異なるキャベツについて、同一条件下でテクスチャー（硬さ、歯切れおよび多汁性）を比較評価することが可能となった。今後、本評価法が、キャベツの品質向上を目指した育種、栽培・貯蔵・加工技術研究に活用され、総合的な品質向上が図られることを期待したい。

#### 第IV章 野菜類の内部品質の非破壊計測法の確立

野菜類は、栽培法のみで一定の品質に揃えることが困難であるため、野菜の選果施設において全量非破壊計測法により品質評価を行い、それに基づく選別・仕分け出荷が重要となる。それにより、流通上好ましくないものの除去や各種調理・加工用途の違いに応じて品質区分された野菜の供給が可能となり、流通および調理・加工段階での品質向上が図られる。スイカでは、重要品質項目である果実糖度を選果場段階で光学的手法による非破壊計測法が生産現場に導入されている。ここでは、ジャガイモのデンプン価およびダイコンの内部障害について、選果ライン上での可視・近赤外分光法による非破壊計測法を検討した。

##### IV-1. ジャガイモのデンプン価の非破壊計測法

第III章-1で述べたように、ジャガイモの調理・加工適性はデンプン価により大きな影響を受ける。これまで、ジャガイモのデンプン価は塊茎ごとに変動するため、デンプン価の揃った塊茎を供給することによる品質安定・向上策は積極的には推進されてこなかった。

一部の食品加工メーカーでは、塩水による比重選別を実施している事例もあるが、通常の流通において比重選別法を適用することは、連続的で迅速な選果が困難であることおよび水濡れによる流通・貯蔵性の低下が懸念されることから現実的ではない。そこで本研究では、実用的な条件下での可視および近赤外分光法を用いたジャガイモのデンプン価の非破壊計測法を検討した。

非破壊測定用の機器は、分光測定部と試料搬送用コンベアを装備しており、選果場での運転速度（50

m/min.）で稼働させたコンベアで分光測定部に塊茎を供給し、連続的に測定した。試料の透過光吸収スペクトルは、光源のハロゲンランプから照射された光を塊茎にあて、透過光を対面の高感度 CCD エリアイメージセンサーで受光すること（光源対向式拡散透過分光分析方式、測定波長範囲 730～930 nm、測定波長間 1 nm）により測定した。塊茎からの透過光の 2 次微分スペクトルと比重測定法によるデンプン価（実測値）をもとに、PLS 回帰分析法により検量線を作成し、評価用試料の測定値から測定精度を評価した。その結果、「男爵薯」、「メークイン」、「キタアカリ」の SEP はそれぞれ 0.87%、0.58% および 0.86% であった。既往の研究で、塊茎のデンプン価に 2% 以上の差があると官能評価時に食味の差として感知されることが明らかとなっている（小宮山ら、2002）。また、Chen ら（2005）は、実験室レベルで SEP が  $0.0044 \text{ g cm}^{-3}$ （デンプン価換算で 0.94% 相当）の精度で測定できることを示した。そこで、本研究では実用レベル、すなわち通常の選果機稼働時のコンベア運転速度で連続的に測定する条件下で、SEP がデンプン価で 1% 未満であることが妥当であると判断した。この基準によると、上記の 3 品種はいずれも測定精度が良好で、目標を達成していると判断された。また、汎用性を確認するため、条件の異なる試料についても、同様に測定精度の検定をした。その結果、重量規格、産地、表皮への土の付着度、貯蔵期間および品温が異なる条件下でも、SEP は 1% 未満であり、十分な精度があることを確認できた。

以上のように、ジャガイモ塊茎のデンプン価を非破壊計測し、実用的選果ラインと同等の処理速度でデンプン価に応じた塊茎の選別ができることが示された。本システムの導入により、デンプン価の揃ったジャガイモの供給が可能となる。これにより、デンプン価のばらつきによるクレームの減少、用途に応じた仕分けによる付加価値向上および実需サイドでの製品品質向上が可能となり、ジャガイモの総合的な品質向上に寄与できると考えられる。

##### IV-2. ダイコンの内部障害の非破壊計測法

ダイコンの内部障害は、その商品性を著しく損なうことから品質上、大きな問題となる。とりわけ、各地での発生がみられ、かつ外観で判別できないパーティシリウム黒点病症状は、出荷前の除去が困難で、その混入によりクレーム発生の原因となることから深刻な問題となっている。現在、選果施設に受け入れられたダイコンは、水洗後、選果ライン上で外観および規格により選別されている。しかし、内部障害は外観による判別が困難な

め、ライン上での全量選別は実施されていない。そこで、可視・近赤外分光法を用いて、ダイコンのパーティシリウム黒点病症状を選果ライン上で計測・選別する方法を検討した。

コンベアおよび光源と受光部からなるセンサーボックスで構成する計測機器により、ダイコンの透過光スペクトルを計測した。すなわち、毎分 11 m で運転するコンベアにより試料をセンサーボックスへ供給し、センサー内に設置されたハロゲンランプを光源とし、コンベア下部に設置された受光部で試料を透過した光（波長範囲 450 ～ 1,000 nm の可視および近赤外光）の吸光度を約 1nm ごとに計測した。透過光の 2 次微分スペクトルと目視による発病指数（無症状：0 ～ 症状甚：3）から PLS 回帰分析により検量線を作成し、検量線評価用試料の計測データから発病指数の推定値を算出し、計測精度を評価した。作成した検量線を用いて、評価用試料の発病指数の推定値を算出した結果、推定精度は極めて高いと判断された。評価用試料について、「推定値 1」を閾値として症状の有無を判定すると、発病指数 0（無症状）の試料は 100% “症状なし”，発病指数 1 以上の試料は 91 から 96%，発病指数 2 以上の試料は 100% が “症状あり” と判定できた。メロンの生理障害果（伊藤，2007）およびナツダイダイのス上がり果（鈴木・石田，1979）の知見と比較して、本研究での結果は同等以上の精度を示した。以上のことから、可視・近赤外分光法によるパー

ティシリウム黒点病症状の計測・選別は、実用の選果ラインで当該症状を有するダイコンの混入防止に極めて有効な手段であると判断された。

現地の選果場では、抜き取り検査により基準以上の発病が認められたロットはすべて廃棄処分されている。しかしながら全量検査ではないため、健全と判定されたロットでも障害のあるものが混入するリスクが高い。一方、抜き取り検査で廃棄処分となるロットにも健全なものが含まれることが想定され、これは生産物の損失につながる。本研究で開発した全量検査のシステムによれば、パーティシリウム黒点病症状のあるダイコンの混入リスクが大幅に低減でき、とりわけ発病指数が 2 以上のものの混入はほとんど生じないと考えられる。

以上、野菜類の生産から消費に至る各段階での品質向上に寄与することを目的に、栽培法および品質評価法について検討してきた。野菜類の品質向上のためには、品種育成、栽培、流通および調理加工を通じた総合的な対策が必要となる。そのため、野菜類の品質向上要因を解析し、その評価法を開発し、各段階へフィードバックすることが重要である。今後、本研究で明らかにした栽培法および品質評価法が、生産現場のみならず流通加工現場でも有効活用され、高品質な野菜の生産および供給の一助となれば幸いである。

## 要 約

国内の野菜生産の維持・向上を図るためには、より高品質な生産物の安定供給により実需および消費者理解を得ることが重要である。そのためには、「育種」から「栽培」、「流通」、「加工」および「消費」に至る各段階での品質評価法および品質向上技術の検討が必要となる。それにより、高品質をキーワードとした品種、安定生産技術および流通・加工技術が開発され、総合的な高品質野菜の供給が可能となり、国内における野菜生産振興に寄与できると考えられる。本研究では、日本国内での主要な野菜3品目、すなわち、ジャガイモ、ダイコンおよびキャベツに加え、果実的野菜の中で最も生産量の多いスイカを対象として、品質評価法およびその変動要因について詳細な検討を行った。これらの品目で重要な品質項目は、ジャガイモでは「デンプン価」、ダイコンでは「テクスチャー」および「内部障害」の有無、キャベツでは「栄養・機能性成分」および「テクスチャー」、スイカでは「糖度」と考えられることから、本研究では主にこれらの項目を中心に検討した。

### 第Ⅱ章 野菜類の品質向上のための栽培法の確立

#### Ⅱ-1. キャベツの内部成分含量の変動に及ぼす各種栽培環境要因

北海道内の主要な収穫時期である7～10月におけるキャベツのビタミンC含有率の実態を調査した結果、ビタミンC含有率の平均値は343 mg kg<sup>-1</sup>であり、最低163 mg kg<sup>-1</sup>から最高590 mg kg<sup>-1</sup>まで広く分布した。キャベツのビタミンC含有率は7～9月収穫のものに比べ、10月収穫作型で高くなった。また、結球肥大に伴いビタミンC含有率は漸減傾向にあった。さらに、窒素施肥量が多くなるにしたがって、ビタミンC含有率は低下する傾向が認められた。キャベツのビタミンC含有率は、過剰な窒素施肥を控え、早どりすることにより高められると考えられた。RQフレックスにより、キャベツのビタミンC含有率の簡易・迅速測定が可能となった。キャベツのビタミンU含有率の平均値は28.9 mg kg<sup>-1</sup>であり、最低7.0 mg kg<sup>-1</sup>から最高66.2 mg kg<sup>-1</sup>の範囲に分布した。各作期別のビタミンU含有率は7月収穫で最も高く、次いで8月、9月、10月収穫の順であった。ビタミンU含有率は低窒素栄養条件下で低く、栽培圃場の窒素供給能が高い条件および窒素施肥量が多くなるほど高まった。また、ビタミンU含有率は緩効性の有機質肥料よりも速効性の有機質肥料の施用で高まった。さらに、ビタミンU含有率は夏どり作型で高く

秋どり作型で低い傾向にあった。キャベツのビタミンU含有率は、窒素栄養条件により変動することが示唆された。

#### Ⅱ-2. スイカの品質（果実糖度）に及ぼす窒素施肥形態の影響

スイカの高品質生産にあたって、有機質肥料施用による減化学肥料栽培に関心が高まっている。このため、本章ではスイカの収量および品質に及ぼす有機質肥料施用の影響について窒素供給および窒素吸収の視点から評価し、高品質を維持した効率的な有機質肥料の施用方法を検討した。インキュベート試験から、供試した有機質肥料は窒素無機化の速い速効性のもの（魚かす、ナタネ油かす、ダイズ油かす）と窒素無機化が遅い緩効性のもの（乾燥鶏ふん、発酵鶏ふん）に区分された。養液栽培による生育時期別窒素供給試験から、スイカの好適窒素供給時期は定植から果実肥大前期までであった。窒素供給の遅延により、収量および品質（糖度）は低下した。速効性の有機質肥料は、果実肥大前期までに窒素成分の多くが無機化されてスイカに供給されるため、化学肥料施用と同等の収量および品質を維持した。このため、速効性の有機質肥料は化学肥料の代替施用が可能である。一方、緩効性の有機質肥料は、窒素肥沃度の十分高い圃場では化学肥料の代替施用が可能であるが、窒素肥沃度の低い圃場では、果実肥大前期までに有機質肥料由来の窒素がスイカへ十分量が供給できないため、収量および果実糖度の低下をもたらす。したがって、緩効性の有機質肥料の施用に当たっては、化学肥料の併用が必要となる。

### 第Ⅲ章 野菜類の調理・加工適性向上のための評価法の確立

#### Ⅲ-1. ジャガイモのデンプン価が調理・加工特性に及ぼす影響

ジャガイモ塊茎のデンプン価は、その調理および加工特性に大きな影響を及ぼす要素である。本章では、産地および流通段階におけるジャガイモ塊茎のデンプン価のばらつきを明らかにするとともに、各種調理・加工法別にデンプン価で仕分けした塊茎試料（デンプン価12～16%）を用いて、デンプン価が調理および加工特性に及ぼす影響について検討を行った。個々の塊茎のデンプン価は、株内、株間および産地間で大きく変動し、その分布幅は6.4～20.0%であった。粉ふきいも、ふかしいも、電子レンジ加熱およびフライドポテトでは、デンプン価

が高いものほどほくほく感が増し、食味総合評価は高かった。肉じゃがおよびカレーによる煮物調理では、デンプン価の低いものほど煮くずれが少なく、食味総合評価は高かった。ポテトサラダは、デンプン価の高いものの評価が高かった。デンプン価が高いものほど遊離アミノ酸含量は低く、とりわけうま味を呈するグルタミン酸含量は、デンプン価 15%以上で顕著に減少した。

### III-2. ダイコンのテクスチャー評価法と加工による変化

野菜の品質向上を目指した育種、栽培および貯蔵技術に関する研究の効率化には、客観的な品質評価法の確立が重要である。ここでは、異なるダイコン品種を用い、生、浅漬け加工および煮熟後のテクスチャー（硬さ）について物性測定機器による評価法を検討し、官能評価による硬さ評価値と整合性の高い客観的評価法を開発した。すなわち、ダイコンの各部位から調製したディスク試料（直径 10 mm、厚さ 5 mm）について、テクスチャーアナライザーを用い、直径 25 mm アルミニウム製円筒型プローブにより圧縮したときの破断時荷重により、硬さを評価できた。浅漬けおよび煮熟した試料の場合、それぞれこの破断時荷重に試料間で約 13 N 以上および 0.5 N 以上の差があれば、官能により硬さの差を明確に識別できると考えられた。また、生、浅漬け加工および煮熟後の試料の硬さに品種間差異が認められ、これらはペクチンおよび AIS 含有率と密接に関係していた。

### III-3. キャベツのテクスチャー評価法と加工による変動

キャベツ食味評価において最も重要視されるテクスチャーを対象に、物性測定機器による客観的評価法を検討を行った。テクスチャーアナライザによる「硬さ」および「歯切れ」の評価のため、貫入時荷重および圧縮時荷重の測定を行った。千切りキャベツについて、「硬さ」および「歯切れ」の官能評価と貫入時荷重および圧縮時荷重は整合性が高く、官能検査でより「硬く」、より「歯切れが悪い」と評価されたものほど、いずれの荷重値も高い値を示した。官能評価およびテクスチャーアナライザーによる荷重値の結果から、生のキャベツの場合、貫入時荷重で 50g 以上、圧縮時荷重で 250g 以上の差があればテクスチャーの違いが感知できることが明らかとなった。さらに、生キャベツの標準的な「硬さ」は貫入時荷重で 230g 程度、「歯切れ」は圧縮時荷重で 1020g 程度と考えられた。さらに、千切りキャベツの多汁性評価のため、多汁性の官能評価値と溢出水率の関係について検討した結果、多汁性の官能評価値とみじん切りにしたキャベツを圧縮したときの搾汁量とは高い整合性が認め

られた。したがって、生キャベツの多汁性評価には、溢出水率を指標にすることができると考えられた。

## 第四章 野菜類の内部品質の非破壊計測法の確立

### IV-1. ジャガイモのデンプン価の非破壊計測法

ジャガイモのデンプン価が食味や調理・加工適性に大きな影響を及ぼし、各調理・加工方法ごとに適切なデンプン価が異なることを前章で明らかにした。しかしながら、各種の栽培条件下でジャガイモ塊茎のデンプン価は変動するため、製品品質や加工工程にばらつきをもたらす。このことが、しばしば消費・実需面から品質上のクレームを生じる原因となる。そこで、本章では可視・近赤外分光法を用い、実用レベルで適用可能なデンプン価の非破壊測定法を検討した。透過スペクトルは、コンベアで分光測定部へ試料を 50 m/min.の速度で連続的に供給しながら、光源からの光を塊茎にあて、対面する CCD エリアイメージセンサー（測定波長範囲 730 ~ 930 nm）で受光して測定した。比重法により求めた塊茎のデンプン価（実測値）と本法で得られた 2 次微分スペクトルから PLS 回帰分析により検量線を品種毎に作成した。その結果、「男爵薯」、「メイクイン」、「キタアカリ」の全規格込みの予測標準誤差（SEP）は、それぞれ 0.87%、0.58% および 0.86% であった。また、産地、付着土の有無および品温が測定精度に及ぼす影響は小さく、いずれの処理でも SEP は目標値の 1% 未満に抑えられた。以上のように、選果ラインを組み合わせた光学的評価法により、ジャガイモ塊茎のデンプン価の非破壊測定およびデンプン価に基づいて選別（毎秒約 3.3 個）できることが示された。

### IV-2. ダイコンの内部障害の非破壊計測法

ダイコンの難防除病害であるパーティシリウム黒点病は、維管束の黒変症状を呈する。その症状は外観で判別するのが困難なため、選果ラインでのチェック後も一部が正常な出荷物に混入し、流通上の問題となる場合がある。そこで、本研究では選果ライン上で、可視・近赤外分光法により本症状を非破壊計測する方法を検討した。ダイコンの透過光 2 次微分スペクトルの主な極小ピークは 560, 740 および 840 nm 付近、極大ピークは 580, 720 および 820 nm 付近に認められた。この 2 次微分スペクトルには、発病指数の違いにより明確な差が認められた。2 次微分スペクトルと発病指数（0 ~ 3 の 4 段階）から PLS 回帰分析により検量線を作成し、これを別の試料に適用して精度を評価した。その結果、本法で推定した発病指数と実際の発病指数との間の相関は、R

= 0.958 (0.1%水準で有意差あり) , SEP = 0.299 となり、高精度な推定が可能と判断された。推定発病指数の 1 を閾値として症状の有無を判定すると、実際の発病指数 0 (無症状) の試料は 100% 「症状なし」と判定され、指数 1 の試料は 91% , 指数 2 以上の試料は 100% が「症状あり」と判定された。推定発病指数と正の相関が高かった 2 次微分スペクトルの波長帯は 580 ~ 610 nm 付近で、最も負の相関が高かった波長帯は 550 ~ 560 nm 付近であった。



## 謝 辞

本研究をとりまとめるにあたり、岩手大学大学院連合農学研究科 小嶋道之准教授には主指導教員として懇切なるご指導および本稿のご校閲を賜りました。岩手大学大学院連合農学研究科 片方陽太郎教授，鮫島正純教授，塚本知玄准教授，弘中和憲准教授には，本稿のご校閲を賜りました。ここに，深甚なる謝意を表します。

元北海道立中央農業試験場農産工学部農産品質科長（現北海道総合研究機構中央農業試験場作物開発部参事兼農産品質グループ主幹） 加藤淳博士には，本研究の遂行およびとりまとめにあたり，終始ご指導とご激励を賜りました。また，元中央農業試験場農産化学部品質評価科長（現北海道総合研究機構中央農業試験場研究参事） 目黒孝司氏，元北海道原子力環境センター農業研究科長（現ホクレン農業協同組合連合会肥料農薬部技監） 熊谷秀行氏，元同（現北海三共株式会社農業科学研究所顧問） 赤司和隆博士，元同主任研究員（現北海道総合研究機構花・野菜技術センター場長） 中野雅章氏，元中央農業試験場生産システム部長（現開発肥料販売株式会社特別技術参与） 稲津脩博士，元中央農業試験場農産化学部長 木村清博士，元同（現北海道サンアグロ株式会社技術顧問） 能代昌雄氏，元中央農業試験場農産工学部長（現ホクレン農業協同組合連合会種苗園芸部主任技師） 村上紀夫博士には，ご指導と貴重なご助言をいただきました。元天使大学看護栄養学部 山本愛子教授，同 山口敦子准教授には，食味官能検査の実施にあたり多大なるご協力を賜りました。元十勝農業試験場てん菜畑作園芸科研究職員 西田忠志氏，北海道総合研究機構十勝農業試験場主査 鳥越昌隆氏，きょうわ農業協同組合各位，ようてい農業協同組合営農推進課長 辻学氏には，研究用試料のご提供とご助言をいただきました。三菱農機株式会社，株式会社マキ製作所（現静岡シブヤ精機株式会社），株式会社エミネット，株式会社 HKN エンジニアリング代表取締役 本田博之氏には，共同研究の遂行にあたりご協力およびご助言をいただきました。元北海道原子力環境センター研究職員（現北海道総合研究機構上川農業試験場天北支場主査） 大橋優二氏，元同（現北海道総合研究機構農業研究本部企画調整部主査） 平井剛博士，元同業務主任 佐々木正氏，元同 谷井敦氏，元北海道総合研究機構中央農業試験場基盤研究部農産品質科研究職員（現同作物研究部作物グループ研究主任） 相馬ちひろ氏，北海道総合研究機構中央農業試験場作物開発部農産品質グループ研究主任 阿部珠代氏，同 小谷野茂和氏および同（現同生産研究部水田農業グループ） 長田亨氏には，有益なご助言およびご助力をいただきました。

以上の各位およびご激励・ご支援いただいた方々に，心から謝意を表します。

## 引用文献

- 浅間和夫. 1972. 全自動でん粉価測定装置. 育種学雑誌. 22(6) : p.46.
- Bertrand, D. and Scotter, C. N. G. 1992. Application of multivariate analyses to NIR spectra of gelatinized starch. *Applied Spectroscopy*. 46: 1420-1425.
- Birth, G. S., Dull, G. G., Renford, W. T. and Kays, S. J. 1985. Nondestructive spectrophotometric determination of dry matter in onions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110: 297-303.
- Cheney, G. 1950. Nature of the antipeptic-ulcer dietary factor. *Stanford Med Bull.* 8: 144-161.
- Chen, J. Y., Zhang, H., Miao, Y. and Matsunaga, R. 2005. NIR Measurement of specific gravity of potato. *Food Sci. Technol. Res.* 11(1): 26-31.
- Clark, C. J., McGlone, V. A. and Jordan, R. B. 2003. Detection of brownheart in 'Braeburn' apple by transmission NIR spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 28: 87-96.
- Danno, A., Miyazato, M. and Ishiguro, E. 1978. Quality evaluation of agricultural products by infrared imaging method. *Mem. Fac. Agr. Kagoshima Univ.* 14: 123-138.
- 土壤環境分析法編集委員会編. 1997. 土壤環境分析法. p.1-427. 博友社. 東京.
- Dull G. G., Leffler, R. G., Birth, G. S. and Smitte A. 1992. Instrument for nondestructive measurement of soluble solids in honeydew melons. *Trans. ASAE.* 35: 735-737.
- Dull G. G., Birth, G. S., Smitte, D. A. and Leffler, R. G. 1989. Near infrared analysis of soluble solids in intact cantaloupe. *J. Food Sci.* 54: 393-395.
- 遠藤千絵, 小原明子, 山内宏昭, 六笠裕治, 箱山 晋. 1998. バレイショの煮崩れ要因の解析. 日本食品科学工学会第 45 回大会講演集. p.101.
- 遠藤千絵, 小原(高田)明子, 山内宏昭, 森 元幸, 石橋憲一. 1999. ばれいしょの煮崩れ要因の解析 2. 日本食品科学工学会第 46 回大会講演集. p.73.
- 淵上倫子. 1983. 野菜の軟化に及ぼす加熱時の pH の影響. 栄食誌. 36 : 219-224.
- 淵上倫子. 1986. 調理したさいのだいこんの軟化とペクチン質の変化との関係. 家政誌. 37 : 1029-1038.
- Fuchigami, M. 1987. Relationship between pectic compositions and the softening of the texture of Japanese radish roots during cooking. *J. Food Sci.* 52: 1317-1320.
- Fuchigami, M. 1988. Effects of harvest time and position of the segments of Japanese radish roots on softening during cooking, pectic composition and dietary fibers. *J. Home Econ. Jpn.* 39: 1241-1247.
- Fuchigami, M., Sasaki A., Sanmoto, A., Tamura, S. and Okuda, H. 1993a. Effect of various chlorides on the pectic composition after cooking. *J. Home Econ. Jpn.* 44: 643-648.
- Fuchigami, M., Tamura, S. and Okuda, H. 1993b. Effects of cations and anions on the softening of cooked Japanese radish roots and on the pectic composition after cooking. *J. Home Econ. Jpn.* 44: 649-654.
- 古館明洋, 目黒孝司. 1997. 水煮バレイショの硬さ測定法. 北海道立農試集報. 73 : 35-40.
- 古館明洋, 目黒孝司. 2001. ジャガイモの遊離アミノ酸と煮汁への溶出について. 家政誌. 52 : 71-74.
- 古館明洋, 目黒孝司. 2002. 北海道産キャベツの遊離アミノ酸含量・組成および栽培条件によるその変動. 家政誌. 53 : 199-203.
- 林 雄, 石居企救男. 1968. そ菜のほう素欠乏と対策. 農及園. 43 : 829-832.
- 東尾久雄. 2000. 野菜の品質・機能性概要と地域特性. 地域農産物の品質・機能性成分総覧. p.35-38. サイエンスフォーラム. 東京.
- 樋口太重. 1982. 有機物連用土壌の地力窒素的な評価. 土肥誌. 53 : 214-218.
- 平井 剛, 後藤英次, 中村隆一, 大橋優二, 小宮山誠一. 2005. スイカの裾換気型トンネル栽培における密閉および固定管理が生育, 収量および果実品質向上に及ぼす影響. 園学研. 4(3) : 319-322.
- Hirai, G., Komiyama, S., Yamaguchi, A., Yamamoto, A. and Masuda, K. 2007. Sensory and objective evaluation of postharvest fruit softening and its relationship with pectin solubility in eight commercial cultivars of muskmelon (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* Naud.). *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 76: 237-243.
- 平本ふく子, 松本伸子. 1992. だいこんの品質と嗜好. 女子栄養大学紀要. 23 : 69-77.
- 廣田智子, 永井耕介, 福嶋 昭, 井上喜正. 2002. 土壌と肥料の違いがホウレンソウの生育および品質に及ぼす影響. 兵庫農技研報(農業). 50 : 41-46.
- 北海道原子力環境センター. 1990. 岩宇地域におけるスイカの窒素施肥に関する試験. 北海道農業試験会議資料.
- 北海道原子力環境センター. 1996. スイカの窒素吸収特

- 性にに基づく有機質肥料の肥効評価. 北海道農業試験  
会議資料
- 北海道農政部. 2008a. 北海道産じゃがいもの用途別消  
費実績. 北海道のものすべて. p.72-73.
- 北海道農政部. 2008b. じゃがいもの支庁別, 品種別作  
付面積. 北海道のものすべて. p.70-71.
- 北海道農政部編. 2002. 北海道施肥ガイド. p.1-242.
- 北海道農政事務所. 2008. 農畜産物の道内ランキング.  
農林水産省北海道農政事務所.
- 北海道立中央農業試験場. 2000. ダイコンパーティシリ  
ウム黒点病の緊急防除対策. 北海道農業試験会議資  
料. p.1-59.
- 北海道青果物価格安定基金協会. 2001. 野菜関係資料.  
p.5. 辻孔版社. 北海道.
- 堀 一之, 大久長範, 鈴木 基, 佐藤孝夫, 吉川朝美.  
1999. しぼりダイコンにおける芥子油の化学構造と  
定量分析. 日食工誌. 46(8) : 528-534.
- 堀江秀樹. 2006. 野菜の品質評価の現状と展望. 野菜茶  
研集報. 3 : 123-127.
- 堀江秀樹, 伊藤秀和, 一法師克成, 東 敬子, 五十嵐  
勇. 2004. キュウリ果肉部の物理性評価法の開発.  
園学研. 3 : 425-428.
- 池羽智子, 貝塚隆史, 石井 貴, 鹿島恭子. 2005. チン  
ゲンサイのビタミン C, 糖, 硝酸含量に及ぼす品種,  
栽培条件の影響. 茨城農総セ園研報. 13 : 17-23.
- 稲津 脩. 1988. 北海道産米の食味向上による品質改善  
に関する研究. 北海道立農業試験場報告. 66 : 1-89.
- 猪俣雄司. 1989. ニホンナシ「豊水」のみつ症の非破壊  
測定. 今月の農業. 33(7) : 94-97.
- 石井現相. 1987a. アブラナ科野菜の辛味・苦味成分の  
高精度定量法. 今月の農業. 31(8) : 28-32.
- 石井現相, 西條了康. 1987b. 栽培条件がダイコン搾汁  
液中のイソチオシアネート含量に及ぼす影響. 園学  
雑. 56(3) : 313-320.
- 石井現相. 1991. HPLC による野菜のビタミン C の迅速  
定量法. 北海道地域主要研究成果情報. p.73-76.
- 石井現相. 1993. アブラナ科植物の香味形成と芥子油.  
化学と生物. 31(11) : 745-749.
- 石川県砂丘地農試. 1988. ハウススイカの施肥改善. 昭  
和 62 年度そ菜試験成績書. p.47-49.
- 伊藤秀和. 1993. アブラナ科およびアリウム属辛味成分  
の簡易測定法. 今月の農業. 37(9) : 78-81.
- Ito, H. 2002. Potential of near infrared spectroscopy for  
nondestructive estimation of Brix in strawberries. *Acta  
Hort.* 567: 751-754.
- Ito, H., Morimoto, S. and Yamauchi, R. 2001. Potential of near  
infrared spectroscopy for non-destructive estimation of  
soluble solids in growing melons. *Acta Hort.* 566:  
483-486.
- Ito, H., Morimoto, S., Yamauchi, R., Ippoushi K., Azuma, K.  
and Higashio, H. 2002. Potential of near infrared  
spectroscopy for non-destructive estimation of soluble  
solids in watermelons. *Acta Hort.* 588: 353-356.
- Ito, H., Fukino-Ito, N., Horie H. and Morimoto S. 2004.  
Non-destructive detection of physiological disorders in  
melons using near infrared (NIR) spectroscopy. *Acta  
Hort.* 654: 229-234.
- 伊藤 茂, 大竹良知, 吉村幸江, 鬼頭勇夫. 1999. 近赤  
外分光法によるスイカ果実の非破壊糖度測定. 愛知  
農総試研報. 31 : 153-158.
- 伊豫知枝, 河野澄夫. 2001. 貯蔵がリンゴ果実の近赤外  
スペクトルに及ぼす影響. 園学雑. 70 : 510-515.
- 女子栄養大学. 2007. 五訂増補食品成分表 2008. 女子  
栄養大学出版部. 東京.
- 門野行男, 上岡誉富, 大森 豊, 岩本利一, 青木喜昭.  
1961. ダイコンの生理障害とくにほう素欠乏につい  
て. 兵庫農試研報. 9 : 40-44.
- 貝原三雄. 1992. 有機栽培による野菜生産の検討. 農耕  
と園芸. 4 : 77-79.
- 金子憲太郎, 黒坂光江, 前田安彦. 1982a. 塩蔵大根の  
テクスチャーと塩蔵中における変化について. 日食  
工誌. 29 : 443-450.
- 金子憲太郎, 黒坂光江, 前田安彦. 1982b. 大根の塩蔵  
によるペクチン質の変化とその機構について. 日食  
工誌. 29 : 611-617.
- 金子憲太郎, 黒坂光江, 前田安彦. 1983. 塩蔵大根のク  
リズプ性に及ぼす Ca 塩の影響. 日食工誌. 30 :  
111-113.
- Kano, Y. 1993. Relationship between the occurrence of  
hollowing in watermelon and the node order of fruiting.  
*Bull. Ishikawa Agric. coll.* 23: 17-24.
- 川合貴雄, 飛川光治, 藤沢敏寛. 1992. ダイコン肥大根  
の赤心症ならびにポリフェノール含量に及ぼす播種  
期, 地温および寒冷しゃ被覆の影響. 園学雑. 61  
(2) : 339-346.
- Kawano, S., Watanabe, H. and Iwamoto, M., 1992.  
Determination of sugar content in intact peaches by near  
infrared spectroscopy with fiber optics in interactance  
mode. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 61: 445-451.
- Kawano, S., Fujiwara, T. and Iwamoto, M., 1993.

- Nondestructive determination of sugar content in satsuma mandarin using near infrared (NIR) transmittance. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 62: 465-470.
- 川城英夫, 武田英之. 1986. ダイコンの赤心に関する研究. 第1報. 発生推移及び気・地温, 土壤水分, 肥料葉面散布の影響. 園学要旨. 昭 61 春: 210-211.
- 北沢健治, 鈴木孝仁. 1980. ダイコンのパーティシリウム黒点病. 日植病報. 46: 271-273.
- 小松 勉, 角野晶大, 北畠国昭, 柳山浩之. 2001. ダイコンパーティシリウム黒点病に対するダゾメット粉粒剤の防除効果 (3) 根雪前無被覆処理の効果. 北日本病虫研報. 52: 53-55.
- 小松 勉, 角野晶大, 北畠国昭, 柳山浩之. 2001. ダイコンパーティシリウム黒点病に対するダゾメット粉粒剤の防除効果 (4) マルチ畦内処理と抵抗性品種の組み合わせ効果. 北日本病虫研報. 52: 56-58.
- 小宮山誠一, 赤司和隆, 熊谷秀行. 1996a. スイカ果実肥大におよぼす窒素供給時期の影響. 土肥要旨集. 42: p.292.
- 小宮山誠一, 赤司和隆, 山上良明, 熊谷秀行. 1997. スイカに対する各種有機質肥料の肥効評価. 土肥誌. 68: 458-461.
- 小宮山誠一, 古館明洋, 目黒孝司. 1999. 夏どりキャベツのビタミン C 含有率の実態と変動要因. 北海道立農試集報. 77: 65-68.
- 小宮山誠一, 熊谷秀行, 赤司和隆. 1996b. 有機質肥料の窒素無機化パターンとスイカの生育・収量. 土肥要旨集. 42: p.163.
- 小宮山誠一, 目黒孝司, 加藤 淳, 山本愛子, 山口敦子, 吉田真弓. 2002. ジャガイモのデンプン含量が調理特性に及ぼす影響. 日調科誌. 35: 336-342.
- 小餅昭二, 佐藤正人. 1981. 馬鈴しょの貯蔵と加工[1]. 農業および園芸. 56: 150-154.
- 栗原 稔. 2003. 打音によるスイカの空洞の検出. 食品の非破壊計測ハンドブック. p.285-288. サイエンスフォーラム. 東京.
- 桑原祐二, 大塚暢幸, 真部正敏. 1985. キュウリピクルスのテクスチャーとペクチン組成に及ぼす無機成分の影響. 日食工誌. 32: 710-717.
- Lammertyn, J., Nicolai, B., Ooms, K., De-Smedt, V. and De-Baerdemaker, J. 1998. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids, and firmness of Jonagold apples using NIR-spectroscopy. *Trans. ASAE.* 41: 1089-1094.
- Matsuura-Endo, C., Ohara-Takada, A., Yamauchi, H., Mori M. and Fujikawa, S. 2002a. Disintegration differences in cooked potatoes from three Japanese cultivars: comparison of starch distribution within one tuber and tissue structure. *Food Sci. Technol. Res.* 8 (3): 252-256.
- Matsuura-Endo, C., Ohara-Takada, A., Yamauchi, H., Mukasa, Y., Mori, M. and Ishibashi, K. 2002b. Disintegration differences in cooked potatoes from three Japanese cultivars: comparison of the properties of isolated starch, degree of cell separation with EDTA, and contents of calcium and galacturonic acid. *Food Sci. Technol. Res.* 8 (4): 323-327.
- 目黒孝司, 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.
- Miyamoto, K. and Kitano, Y. 1995. Non-destructive determination of sugar content in satsuma mandarin fruit by near infrared transmittance spectroscopy. *J. Near Infrared Spectrosc.* 3: 227-237.
- 宮里 満, 石黒悦爾, 団野皓文. 1981. 赤外線映像法による農産物の品質判別に関する研究. IV. 果物およびいも類の傷の判別について. 鹿大農学術報告. 31: 149-156.
- 森本康史. 1996. スイカ果実の肥大経過と糖度上昇について. 近畿中国農研. 91: 86-88.
- Mozafar A. 1993. Nitrogen fertilizers and the amount of vitamins in plant: a review. *J. Plant Nutr.* 16: 2479-2506.
- 邨田卓夫, 石原理江. 1987. ジャガイモ塊茎の糖含量とチップカラーとの関係. 日本食品工業学会誌. 34: 443-447.
- 永田利男. 1956. 北海道農業選書第2集馬鈴薯の話. p.169-171. 北海道新聞社. 札幌.
- 中嶋輝子, 福島 務, 松浦英之, 石上 清. 1995. 近赤外分光法によるメロン果肉糖度非破壊測定機の開発. 静岡農試研報. 40: 7-17.
- 中村隆一, 目黒孝司, 元木征治. 1996. 春夏まきレタスの品質向上対策. 土肥誌. 67(6): 692-695.
- 中野敦博, 山木一史, 田中 彰, 岩下敦子, 榎 賢治. 2002. レトルト殺菌機で加工されたジャガイモの硬さに対する品種間差. 北海道立食品加工研究センター報告. 5: 43-45.
- 中野和弘. 2007. 内部障害を有する大根の非破壊判定方法及びその装置. 特許公開 2007-71603.
- 日本食品科学工学会 新・食品分析法編集委員会編. 1996. 新・食品分析法. p.575-581. 光琳. 東京.
- 西田忠志, 下野勝昭. 1989. ダイコン赤心症の発生に及ぼす環境条件の影響. 土肥要旨集. 35: p.246.

- 西沢 隆, 森 佑子, 福島慎也, 夏賀元康, 丸山康広.  
2009. 近赤外分光法によるイチゴ果実糖組成の非破壊測定. 食工誌. 56(4) : 229-235.
- 農林水産省. 2008. 年次別農業総産出額及び生産農業所得. 生産農業所得統計. <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001031687>
- 農林水産省. 2009a. 平成 19 年産野菜作付面積、収穫量及び出荷量. 野菜生産出荷統計. <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001021653&cycode=0>
- 農林水産省. 2009b. 年度別需給表平成 19 年度概算値. 食料需給表. <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001052524>
- Nzabonimpa, R. and Nicod, P. 1999. Determination of the degree of gelatinisation of starch by near infrared spectroscopy. *Near Infrared Spectroscopy; Proceedings of the 9th International Conference*. p.75-80.
- 小原明子, 小林 晃, 遠藤千絵, 山内宏昭, 森 元幸.  
1997. バレイショの澱粉価と煮崩れの関係. 日本育種学会・日本作物学会北海道談話会会報. 38 : 34-35.
- 大森定夫. 2003. 可視透過法を用いたパインアップルの内部品質評価装置. 食品の非破壊計測ハンドブック. p.127-130. サイエンスフォーラム. 東京.
- 大野一仁, 松本恭郎, 松田 宏. 1996. 微生物による温州みかん果汁中の S-メチルメチオニンスルフォニウムの減少. 園学雑. 65 (別 2) : 700-701.
- Ohtsuki, K., Kawabata, M., Kokura, H. and Taguchi. K. 1987. Simultaneous determination of S-Methylmethionine, vitamin U and free amino acids in extracts of green tea with an HPLC-amino acid analyzer. *Agric. Biol. Chem.* 51: 2479-2487.
- 岡 啓. 1969. 十勝地方におけるばれいしょの生産性向上に関する研究 第 2 報 磷酸多施条件下における N 用量とばれいしょの生育反応. 北海道農業試験場彙報. 95 : 53-64.
- 岡 啓. 1977. 十勝地方におけるばれいしょの生産性向上に関する研究 第 3 報 ばれいしょの生育、収量に及ぼす窒素分施及び緩効性窒素の影響. 北海道農業試験場研究報告. 117 : 57-74.
- 岡部 進, 天ヶ瀬紀久子, 藤本宗一, 藤田博巳. 1996. メチルメチオニンスルホニウムクロライド (MMSC) のラット胃粘膜細胞に対する保護作用について. *Therapeutic Res.* 17 : 3663-3669.
- Okano, K., Chutani, K. and Matsuo, K. 1997. Suitable level of nitrogen fertilizer for tea (*Camellia sinensis* L.) plants in relation to growth, photosynthesis, nitrogen uptake and accumulation of free amino acids. *Jpn. J. Crop Sci.* 66: 279-287.
- Okano K., Asano, J. and Ishii, G. 1990a. A rapid method for determining the pungent principle in root of japanese radish (*Raphanus sativus* L.). *J. Japan. soc. Hort. Sci.* 59 (3): 545-550.
- 岡野邦夫, 浅野次郎, 石井現相. 1990b. ダイコン品種の辛味成分含量. 園学雑. 59(3) : 551-558.
- 岡崎 尚, 前重静彦, 鈴木寛一. 1997. 加熱によるダイコンの軟化およびペクチンの分解に関する速度論的解析. 食工誌. 44(9) : 647-652.
- 恩田 匠, 阿部秀幸, 松永暁子, 小宮山美弘, 河野澄夫. 1994. 近赤外分光法によるデンプン糊化の解析. 日本食品工業学会誌. 41 : 886-890.
- 小野寺政行, 三木直倫, 赤司和隆. 2000. キャベツの作条施肥による窒素 3 割減肥技術. 土肥誌. 71 : 714-717.
- 坂口雅己, 中村隆一, 日笠裕治. 2002. キャベツのアスコルビン酸含有率に及ぼす栽培条件の影響. 北海道立農試集報. 82 : 97-102.
- 三幣正巳. 1984. 有機質肥料の種類. 植物栄養土壤肥料大事典. p.1227-1229. 養賢堂. 東京.
- 佐藤広顕, 高野克己. 2000. 比重の異なるバレイショの蒸熱による物性およびペクチンの性状変化の比較. 日食保蔵誌. 26 : 17-21.
- 佐藤広顕, 高野克己, 小嶋秩夫, 谷村和八郎, 鴨居郁三. 1998. 比重の異なるバレイショの物性に及ぼすペクチン質の影響. 日食保蔵誌. 24 : 355-359.
- 佐藤広顕, 高野克己, 光浦暢洋, 谷村和八郎, 鴨居郁三. 1991. 比重の異なるバレイショの物性について. 日本食品工業学会誌. 38 : 1134-1136.
- Sato, T., Morishita, T., Hara, T., Suda, I. and Tetsuka, T. 2001. Near-Infrared reflectance spectroscopy analysis of moisture, fat, protein, and physiological activity in buckwheat flour for breeding selection. *Plant Prod. Sci.* 4 (4): 270-277.
- 澤山一博, 本間稔規, 青山達仁. 2001. 光学的手法を用いた根菜類品質検査技術の開発. 北海道立工業試験場報告. 300 : 155-158.
- 嶋村茂治, 丸尾 達, 伊東 正, 寺島 彰, 前田一夫. 1999. レーザーを用いたスイカ果実の糖度と熟度の非破壊検査法に関する研究. 園学雑. 68 (別 1) : p.244.

- 新堀二千男, 甲田暢男. 1978. スイカ果実の成熟生理と品質—果実の発育に伴う糖, 有機酸などの変化—. 農業および園芸. 53 : 335-336.
- 杉原 進, 金野隆光, 石井和夫. 1986. 土壌中における有機態窒素無機化の反応速度論的解析法. 農環研報. 1 : 127-166.
- 角野晶大, 田中民夫, 富沢雅代, 鈴木清史. 1997. *Verticillium albo-atrum* によるダイコンパーティシリウム黒点病の発生(病原の追加). 日植病報. 63 (講演要旨) : 203.
- 角野晶大, 北島国昭, 柳山浩之, 田中民夫, 佐々木高行. 2001. ダイコンパーティシリウム黒点病に対するダゾメット粉粒剤の防除効果 (1) 処理量と処理深度. 北日本病虫研報. 52 : 45-48.
- 角野晶大, 北島国昭, 佐々木高行, 柳山浩之, 小松 勉, 田中民夫. 2001. ダイコンパーティシリウム黒点病に対するダゾメット粉粒剤の防除効果 (2) 三重ポリエチレンフィルムを用いたマルチ畦内処理. 北日本病虫研報. 52 : 49-52.
- 鈴木晴夫, 石田 隆. 1979. 透過光の利用による夏橙の「ス上がり果」の選別. 静岡柑試研報. 15 : 23-28.
- 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, シュウ酸含有率に与える影響. 土肥誌. 66 : 238-246.
- 建部雅子, 米山忠克. 1995. 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 : 435-438.
- 瀧川重信, 石井現相. 1996. ビタミン U 含量のキャベツ及びレタスの可食部位別分布. 園学雑. 65 (別 2) : 760-761.
- 瀧川重信, 石井現相. 1997. 貯蔵キャベツにおけるビタミン U 蓄積の品種間差異. 園学雑. 66 (別 2) : 720-721.
- 田村咲江. 1995. 野菜の細胞壁と調理. 日調科誌. 28 : 274-282.
- Tamura, S., Kawamura, C., Senda, T. and Fuchigami, M. 1993. Effects of various salts on the softening of cooked japanese radish roots and fine structure of parenchyma cell wall after cooking. *J. Home Econ. Jpn.* 44: 633-641.
- 谷口健雄. 1990. 加工用ばれいしょの肥培管理改善による品質向上. 農業技術. 45(4) : 150-155.
- 谷本政男, 藤井 茂, 田村 学. 2003. 根菜類の欠陥の非破壊検査装置. 特許 3389098.
- Tsuchikawa, S., Kumada, S. and Inoue, K. 2002. Application of time-of-flight near-infrared spectroscopy for detecting water core in apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127: 303-308.
- 辻村 卓, 小松原晴美, 荒井京子, 福田知子. 1997. 出回り期が長い食用植物のビタミンおよびミネラル含有量の通年成分変化 [1]. ビタミン. 71 : 67-74.
- 張 春蘭, 渡邊幸雄, 嶋田典司. 1990. 水耕ホウレンソウの生育ならびに含有成分に及ぼす培養液の窒素濃度の影響. 千葉大園学報. 43 : 1-5.
- 梅村芳樹. 1999. 消費ニーズに応える農産物の生産・流通・加工. 農業機械学会北海道支部第 50 回研究発表会講演要旨. p.73-76.
- 梅村芳樹, 小原明子. 1997. ジャガイモの調理特性. 日調科誌. 30(1) : 84-88.
- 魚住 純, 河野澄夫, 岩元睦夫, 西成勝好. 1987. 色むらのある食品の品質評価のための可視分光分析装置の試作. 日本食品工業学会誌. 34(3) : 163-170.
- Watada, A. E., Norris, K. H., Worthington, J. T. and Massie, D. R. 1976. Estimation of chlorophyll and carotenoid contents of whole tomato by light absorbance technique. *J. Food Sci.* 41: 329-332.
- 渡邊和洋. 1993. 植物体のアスコルビン酸の機能に関する研究 1 栽培時期の異なるキャベツのアスコルビン酸含有量と無機物質吸収の関係. 日作東北支部報. 36 : 97-99.
- 渡邊慎一, 中野有加, 岡野邦夫. 2001. スイカの立体および地ばい栽培における総葉面積と果実重の関係. 園学雑. 70(6) : 725-732.
- 渡辺慎一, 中野有加, 岡野邦夫. 2003. 着果節位が立体栽培スイカの総葉面積と果実重に及ぼす影響. 園学研. 2(1) : 35-38.
- Watanabe, T., Ohara, S., Ichikawa, T., Saigenji, K. and Hotta, K. 1996. Mechanism for cytoprotection by vitamin U from ethanol-induced gastric mucosal damage in rats. *Dig. Dis. Sci.* 41: 49-54.
- 山崎晴民, 六本木和夫. 1998. 有機物施用が葉菜類の収量及び品質に及ぼす影響. 埼玉園試研報. 21 : 7-20.
- 矢野昌充, 小濱節雄. 1983. キャベツの栽培条件と遊離アミノ酸組成. 春園学会研発要: : p.364-365.
- 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(10) : 1055-1062.
- 財団法人雑賀技術研究所. 1995. 青果物の内部温度測定法. 特許公開平 7-63616.

# Studies on Methods of Cultivation and Quality Evaluation of Vegetables for their Quality Improvement

Seiichi Komiyama

## Summary

Methods of cultivation, objective quality evaluation and factors for variation of the quality in potato (*Solanum tuberosum* L.), Japanese radish (*Raphanus sativus* L.), cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata L.) and water melon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. et Nakai) were investigated.

### 1. Effects of nitrogen fertilization and cropping season on the vitamin C and U concentration in cabbage

Vitamin C (VC) and vitamin U (VU) concentration in cabbages harvested in Hokkaido ranged from 163 - 590 mg kg<sup>-1</sup> and 7.0 - 66.2 mg kg<sup>-1</sup>, and the mean was 343 mg kg<sup>-1</sup> and 28.9 mg kg<sup>-1</sup> (1996-1998), respectively. The mean VC concentration in cabbages was higher in October than from July to September. VC concentration was decreased with increases in applied nitrogen (N) fertilizer. It is possible that VC concentration in cabbages was increased by early harvest and restriction of excessive N fertilization. RQ flex could be used for rapid analysis of VC concentration in cabbages. Among cropping seasons, the mean VU concentration was highest in July (40.6 mg kg<sup>-1</sup>), then declined gradually until October (13.2 mg kg<sup>-1</sup>). VU concentration in cabbages increased with increases in applied N fertilizer, or growth in fields with higher N fertility, and in summer cropping rather than autumn cropping. In the case of cabbage production using organic matter to reduce usage of chemical fertilizer, the VU concentration in cabbage grown with fish meal (fast-N-release) was higher than that grown with rice bran (slow-N-release). These results indicate that changes in VU concentration in cabbages depend on N nutritional condition.

### 2. Effect of organic fertilizers on the growth, yield and quality of watermelon

Facing a market demand for the reduction of chemical fertilizer usage, a guideline for organic matter application in watermelon production was established. N mineralization rate of organic matters (O.M.) was measured with the incubation

method. Based on the relative rate of N mineralization, O.M. were classified into 2 groups: a) fast-N-release, such as fish meal, rapeseed meal and soybean meal, and b) slow-N-release, such as rice bran, dried and fermented poultry manures. N was given at various growth stages of watermelon with solution culture condition. The optimum timing of N application was from setting stage to the middle of fruit thickening stage. Delayed N supply suppressed fruit thickening, decreased yield and brix degree and deformed fruit. Watermelon yield grown with the fast-N-release O.M. was similar to that with chemical fertilizer, since the majority of N in the fast-N-release O.M. was mineralized and absorbed by the middle of fruit thickening. Therefore, the fast-N-release O.M. can entirely substitute chemical N fertilizer. The slow-N-release O.M. were as efficient as chemical N fertilizer in higher N fertility fields. However, in lower N fertility fields, application of the slow-N-release O.M. decreased yield and brix degree, since the amount of N supplied from the slow-N-release O.M. was less than that from the fast-N-release by the middle of fruit thickening. Consequently, chemical N fertilizer should be added to slow-N-release O.M.

### 3. Effect of starch content on the cooking quality of potato

The relationship between the starch content of potato and its cooking quality was examined. Potato tubers were assigned according to their starch content from 12% to 16%. They were cooked by different methods and a sensory evaluation then carried out. In the case of boiling, steaming, frying and heating in a microwave oven, potato with the high starch content (HS) was evaluated as having a richer and more mealy feeling and better taste than potato with the low starch content (LS). On the other hand, in curry and *nikujaga* (potato stewed with pork), LS was evaluated to be better than HS because of less collapse after cooking. In potato salad, HS was evaluated more highly than LS in taste only by the manufacturers' panel. The glutamic acid content was particularly low in potato tubers with a starch content of 15%

and above.

#### **4. Methods for texture evaluation of japanese radishes and the changes of texture with light-Pickling and boiling process**

It is requisite for efficient research of breeding, cultivation, storage and marketing of vegetables that objective quality evaluation is developed. Texture (Firmness) is the most important factor in quality evaluation of japanese radish root. We proposed firmness evaluating method of fresh, lightly-pickled and boiled radish roots using the Texture Analyser in the following way. Using some cultivars, disks (10 mm in diameter and 5 mm thick) taken from the defined positions of radish roots were compressed by a cylindrical probe and the destructing force was measured by the texture analyser. The measured forces agreed with firmness scores in the sensory evaluation. When difference of the destructing force of the disks after processing of pickles between cultivars was more than 13 N, the difference of firmness was detectable by the sensory test. A considerable difference in the destructing force of the disks was found between cultivars, which was correlated with contents of pectin and alcohol insoluble solids of radish tissue.

#### **5. Development of sorting system based on starch content of potato using visible and near-infrared spectroscopy**

Starch contents of potato tubers affect the taste and the aptitude of cooking and food processing, however, they vary widely under different growing conditions. In order to enable introduction of sorting machines based on starch content of potato tubers, nondestructive determination of their starch contents using visible and near-infrared (NIR) spectroscopy was investigated under practical conditions that potatoes were placed on the conveyor system and supplied into photometric sensor, continuously. Using many potato tubers of different varieties and sizes, partial least squares (PLS) regression was carried out to relate starch content measured by specific gravity

method to the second derivative spectra. The standard error of prediction (SEP)s for starch content of 'Danshaku-imo', 'Mayqueen' and 'Kita-akari', were 0.87%, 0.58% and 0.86%, respectively. The accuracy of prediction was little affected by the difference of growing locations, mud adhering on tuber surface and the temperature of tubers. It is concluded that the visible and NIR transmittance method is effective for an accurate and rapid selection of potato tubers based on starch content and possible to use in packinghouse.

#### **6. Nondestructive determination of the symptom of *Verticillium* black spot in japanese radish using visible and near-infrared spectroscopy**

The symptom of *Verticillium* black spot in japanese radish is black discoloration at the vascular bundle of the root: However, it is difficult to detect the symptom by visual inspection. Thus diseased roots are often mixed with normal roots after inspection in packinghouses. In order to improve this problem, a nondestructive determination method using visible (VIS) and near-infrared (NIR) spectroscopy was developed under practical conditions. The spectra of radish roots were continuously measured by transmittance mode: the scanning range was 450-1,000 nm. Measured roots were then cut and the degree of symptom was converted to an index of 0 (no symptom) to 3 (severely affected) by visual inspection of the cut root. Partial least squares regression was carried out relative to the indices to the second derivative spectra. In a validation set, the standard error of prediction for the index was 0.299 ( $R = 0.958$ ,  $n = 70$ ). For each root without the symptom, the predicted indices were less than one, and for 91% of the roots with the symptom, the predicted indices were more than one. Using this method, the roots with an index of 0 could be completely separated from those with an index 2 or higher. It is suggested that VIS/NIR spectroscopy is an effective tool for accurate and rapid elimination of radish roots with the internal symptom of *Verticillium* black spot.