

生育及び貯蔵中におけるごぼうの糖質含量の変化^{*1}

長尾 明宣^{*2} 谷口 健雄^{*3}

ごぼうの葉重は下葉の枯れ上がる9月上旬から減少に転じた。一方、根重は11月上旬まで増加し、その後増加は緩慢となった。根部の糖質含量は9月下旬に最大になり、その後減少に転じた。この減少は根部への同化産物の転流が低下した後も根部の肥大が続く、相対的に糖質含量が低くなったと考えられた。貯蔵温度(1, 3, 6℃)が高く日数が長いほど、段ボール区(段ボール箱)の重量減少率は高く、発根及び萌芽の伸長はPE区(ポリエチレンフィルム袋の折り込み包装)及び段ボール区において顕著であった。一方、リング+PE区(PE区の包装内にリングを封入)は発根及び萌芽の伸長が抑えられ、1℃と3℃で収穫時に近い鮮度が保持された。根部の部位別(首部、中間部、根先部)の糖質含量は根先部が首部に比べて約2倍程度高かった。各部位とも貯蔵温度が低く、日数が長いほどフラクタン含量の低分子化が認められた。以上から、ごぼうの最適貯蔵条件は1~3℃で、0.03 mmの厚さのポリエチレン袋内にリングを封入した折り込み包装と考えられた。

緒 言

近年、食と健康の関係に関心が高まり、消費者はビタミンや食物繊維などの供給源として、積極的に野菜を摂取するようになってきている。従来、栄養学的に顧みられなかった難消化性の食物繊維が、近年健康に有効な成分であることが認知され⁴⁾、特にごぼうは食物繊維の一種であるフラクタンを多く含むため¹⁰⁾、消費量は増加傾向にある。

ところが、生産の面から見ると、北海道の出荷期は9~11月に集中し価格の不安定を招くことが多い。このため貯蔵技術の確立によって出荷期の拡大を図ることが望まれている。加えて、この数年ごぼうの輸入量が増加しており、一層の高品質化が求められるなど、今後は内部品質も考慮した収穫適期や貯蔵法の確立が必要である。

ごぼうに含まれるフラクタンに関しては、収穫時の含量¹⁰⁾や品種間差異¹⁵⁾についての報告のみであり、生育過程中的フラクタン含量の推移についての検討例はない。品質保持技術に関しても、低温貯蔵⁶⁾やフィルム包装¹⁹⁾が萎れに対して有効であるとの報告はあるが、内部品質の推移についての研究例は認められない。本試験では、ごぼうの生育及び貯蔵中のフラクタンの推移に着目し、

収穫適期及び最適貯蔵条件について調べ、新たな知見を得たので報告する。

材料及び方法

実験材料は由仁町三川で栽培された、北海道の代表的な品種であるごぼう(*Arctium lappa* L.)「柳川理想」を供試した。

試験1. ごぼうの生育に伴う根部の糖質含量の変化

1995年、1996年の5月7日に播種し(N-P₂O₅-K₂O: 1.8-2.0-1.5 kg/a)、チョッパーによる茎葉の切除は11月1日(1995年)と11月6日(1996年)に行った。一回につき20~30個体を用いて、葉重、根重と根部の糖質含量を経時的に調査した。根の首部から3 cmと根先の根径5 mm以下を切除し、根部全体を5等分に切断し中間部を糖質含量に供試した。剥皮後に凍結乾燥し、摩砕した試料(1 g)に0.025 N塩酸を加え、加水分解後(98℃, 30分間)、水酸化ナトリウム溶液で中和し濾過した。この濾液を用いて高速液体クロマトグラフィーでフルクトースとグルコースの定量を行い、これらの糖の合計値を糖質含量とした。

次に、同じく凍結乾燥した試料(1 g)に80%エタノールを加え、50℃で1時間保温後濾過し、残さを80%エタノールで洗浄した。このエタノール抽出液を減圧濃縮し、高速液体クロマトグラフィーで重合度7以下の糖を定量した。フルクトース、グルコース、スクロース、1-kestose(GF2)、ニストース(GF3)、フラクトフラノシル-D-ニストース(GF4)は各々の標準品で、GF5~GF6はGF4で定量した。GF7以上のフラクタンにつ

1999年3月26日受理

^{*1} 本報の一部は、1996年度園芸学会春季大会で発表した。

^{*2} 北海道立中央農業試験場、(現北海道立上川農業試験場, 078-0397 比布町)

^{*3} 同上, 069-1395 長沼町

いては、糖質含量からフルクトース、グルコース、スクロースとGF2~GF6の合計値を引いて算出した。

試験2. 貯蔵中におけるごぼうの内部品質の変化

1996年11月29日にごぼうを収穫し、M~Lサイズ(根径2.0~3.0 cm, 根長65 cm以上)のものを供試した。段ボール箱(縦96 cm, 横30 cm, 深さ15.5 cm)内に10 kgのごぼうを入れた区(段ボール区), 次に3.0 kgをポリエチレンフィルム(76×90 cm, 厚さ0.03 mm)袋に封入し袋口を3回折り込んだポリエチレン包装区(PE区), PE区にリング2個を入れた区(リング+PE区)を設けた。リングは中央農業試験場果樹園で収穫した「ハックナイン」を用い, 約300~400 gの果実を供試した。各包装区に対して1, 3, 6℃の3段階の温度区を設け, 湿度RH 85~95%で貯蔵した。貯蔵中の重量減少率, 発根, 萌芽, 糖質含量を経時的に調査した。

試験1と同様に, 根部全体を5等分し根の首部側を首部, 根先に近い部位を根先部, 中心の部位を中間部とし, 各部位別の糖質含量を試験1に準じて分析した。

PE区及びリング+PE区の包装内の呼吸量とエチレン生成量をガスクロマトグラフィーで測定した。呼吸量にはPola pakQカラム(2 m×3 mmφ, 80℃), TCD検出器, エチレンには活性アルミナ(2 m×3 mmφ, 80℃), FID検出器を用いた。

試験結果

試験1. ごぼうの生育に伴う根部の糖質含量の変化

葉重は下葉が枯れ上がる9月上旬を境に増加から減少に転じた。生育期間を通して1995年は1996年より終始葉重が多かった(図1)。一方根重は葉を切除した11月上旬まで増加し, その後は1995年が約300 g, 1996年が約210 gのほぼ一定に推移した。糖質含量は生育に伴って増加を示し, 1995年は9月20日, 1996年は9月25日に

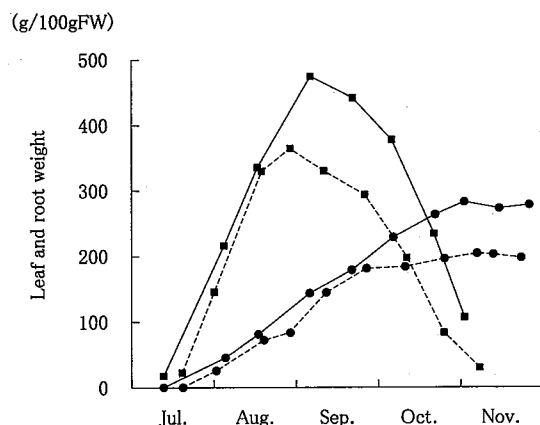


Fig 1 Seasonal changes in leaf and root weight of burdock roots.

■; Leaf weight ●; Root weight
—; 1995; 1996

最高に達した後, 減少に転じた(図2)。フルクトース, グルコース及びスクロースを合計した単糖と二糖の含量は8月から生育につれて徐々に減少し, 11月以降は0.4~0.6 g/100 gに推移した。糖質含量は1996年が1995年に比べて終始高かった。

試験2. 貯蔵中におけるごぼうの内部品質の変化

貯蔵温度が高く日数が長いほど, 段ボール区の重量減少率は高くなり(表1), 特に根先部において萎び及び軟化が認められた。発根及び萌芽の伸長はPE区及び段ボール区において顕著であった(表2)。一方, リング+PE区では発根及び萌芽の伸長が抑えられ, 6℃で100日目, 1℃及び3℃の124日目の観察結果では収穫時に近い鮮度保持効果が認められた。貯蔵中のエチレン生成量は, リング+PE区では温度が高く日数が長いほど多かったが, PE区では検出されなかった(表3)。呼吸量は温度が高く日数が長いほど多くなる傾向が見られたが, 包装方法による影響は判然としなかった。折り込み包装のため, エチレン生成量や呼吸量の減少が貯蔵中に散見された。

各区とも糖質含量は首部から根先部に向かうほど高く, 首部は根先部のほぼ半分程度であった(図3~5)。さらに根先部の糖質含量は高温になるほど増加し, また首部の糖質含量は期間が長くなるほど少傾向を示し, 特に段ボール区においてその傾向が顕著であった。糖質の組成は, 各包装区とも部位に係わらず, 低温で日数が長いほど, 単糖, 二糖類及び低分子のフラクタン含量(GF₂~GF₆)が高くなる傾向が認められた。

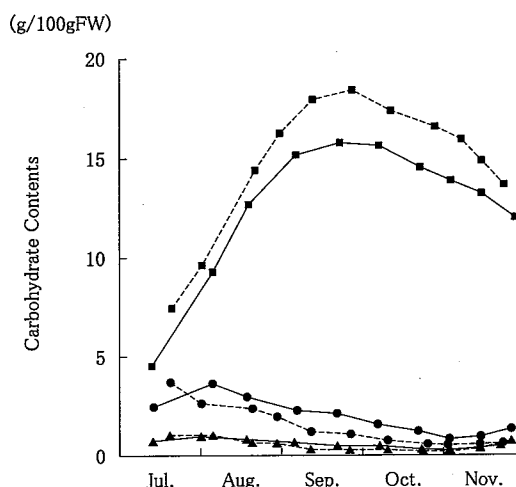


Fig 2 Seasonal changes in carbohydrate contents of burdock roots.

▲; Glucose+Fructose+Sucrose
●; ▲+Fructan (GF₂~GF₆)
■; ●+Fructan (≥GF₇)
—; 1995; 1996

Table 1 Changes in weight loss of burdock root during storage.

Type of package	Temperature (°C)	Days in storage (Date)					
		25 (12/24)	40 (1/8)	55 (1/23)	75 (2/10)	100 (3/7)	124 (3/31)
*Corrugated cardboard box	1	1.0%	1.9%	2.8%	4.2%	5.0%	5.8%
	3	0.6	1.8	2.8	4.6	5.4	7.5
	6	0.8	3.2	4.8	6.0	6.8	8.9
*PE film bag	1	0.2	0.5	0.6	1.2	1.4	1.5
	3	0.1	0.4	0.5	0.8	2.0	2.2
	6	0.7	1.2	1.2	1.6	2.0	2.2
*PE film bag with apples	1	0.3	0.6	0.8	0.9	1.6	1.7
	3	0.1	0.8	1.5	1.8	2.2	2.4
	6	0.6	1.2	2.0	2.2	2.6	2.9

*Burdock root (10 kg) packaged in corrugated cardboard box (96×30×15.5 cm).

*Burdock root (3 kg) packaged in polyethylene film bag (0.03 mm thickness).

*Burdock root (3 kg) packaged in polyethylene film bag (0.03 mm thickness) with apples.

Table 2 Changes in sprouting and rooting of burdock root during storage.

*Type of package	Temperature (°C)	Days in storage (Date)					
		25 (12/24)	40 (1/8)	55 (1/23)	75 (2/10)	100 (3/7)	124 (3/31)
Corrugated cardboard box	1	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(0)	1(2)
	3	0(0)	0(0)	2(1)	2(1)	2(3)	2(3)
	6	2(0)	2(1)	3(4)	3(6)	4(6)	4(8)
PE film bag	1	0(0)	0(0)	0(0)	1(0)	2(3)	1(6)
	3	0(0)	0(0)	1(1)	1(2)	2(3)	2(7)
	6	2(0)	3(4)	3(8)	3(9)	4(11)	4(12)
PE film bag with apples	1	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(1)
	3	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	0(1)	0(2)
	6	0(0)	1(0)	1(1)	1(1)	1(1)	1(3)

*Type of packages are the same as shown in Table 1.

*Sprouting (rooting); cm (cm)

Table 3 Changes in respiration rate and ethylene production of burdock root during storage.

*Type of package	Temperature (°C)	Days in storage (Date)		
		40 (1/8)	75 (2/10)	124 (3/31)
PE film bag	1	1.03(*N.D.)	1.38(N.D.)	1.55(N.D.)
	3	1.92(N.D.)	1.02(N.D.)	2.42(N.D.)
	6	0.86(N.D.)	4.58(N.D.)	2.55(N.D.)
PE film bag with apples	1	0.40(1.35)	1.59(8.05)	1.78(5.98)
	3	0.45(1.32)	1.67(11.34)	1.41(16.70)
	6	0.66(2.51)	1.29(5.46)	5.33(20.36)

*Type of packages are the same as shown in Table 1.

*CO₂(C₂H₄); % (ppm)

*Not detected (<0.02 ppm).

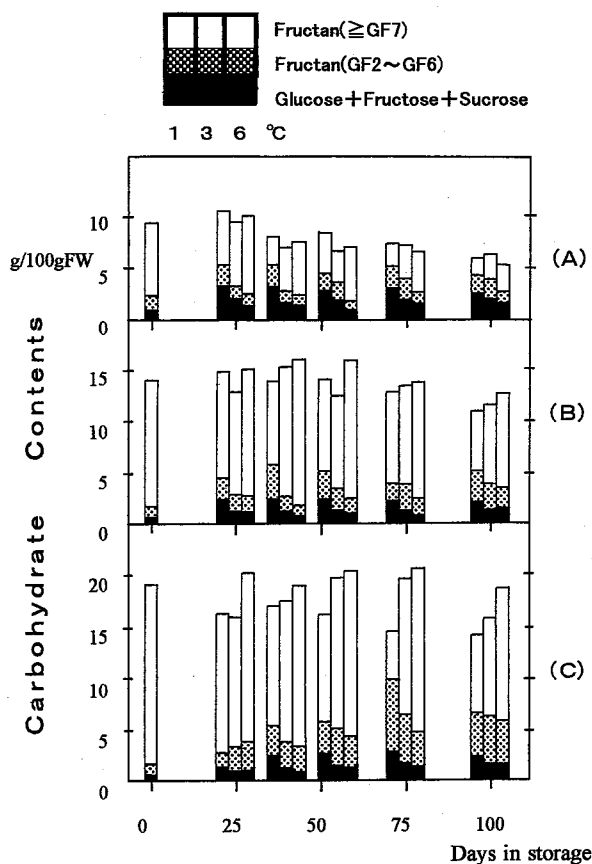


Fig 3 Changes in carbohydrate contents of burdock roots in corrugated cardboard box.

(A): Top part, (B): Middle part, (C): Bottom part

考 察

最近では難消化性の食物繊維は、健康に有効な成分であることが認められ⁹⁾、特にごぼうは豊富に食物繊維を含むことから消費が伸びている野菜の一つである。ごぼうに含まれる主な食物繊維はスクロースにフラクトースが鎖状に結合したフラクタンであり、これらは消化吸収を受けずに未消化のまま大腸に到達し、腸内ビフィズス菌などの活性化及び増殖を促し、腸内細菌の改善に有効とされている⁴⁾。そのため、厚生省では成人の食物繊維の目標摂取量として20~25 g/日を提唱しているが、現在の日本人の摂取量は15 g/日を下回るまで減少しており、近年の大腸ガンの増加との関連性が問題視されている。

今回の結果では、9月以後のフラクタン含量は12~18 g/100 gを示した(図2)。ペクチン、ヘミセルロース、セルロースなどから成る細胞壁多糖類は約4 g/100 g(長尾, 未発表)であることから、ごぼうの食物繊維含量はフラクタンと細胞壁多糖類を加えた16~22 g/100 gであると推定される。また西田の結果でも¹⁴⁾、芽室町産ごぼうの食物繊維含量は20 g/100 g以上であった。一方、四

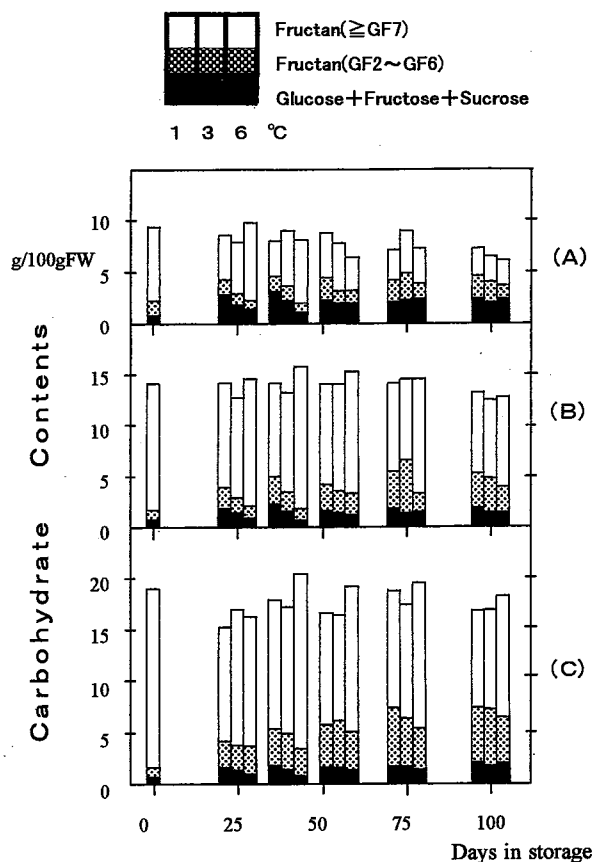


Fig 4 Changes in carbohydrate contents of burdock roots in polyethylene film bag.

(A): Top part, (B): Middle part, (C): Bottom part

訂食品成分表によれば、ごぼうの食物繊維含量は8.5 g/100 gであり⁹⁾、また乙黒らの府県の結果では、本試験と同じ「柳川理想」の9月中旬収穫で11.8 g/100 gであった¹⁵⁾。以上のことから、道産ごぼうにはフラクタンが多く、府県産の約2倍の食物繊維が含まれ、約150 gで目標とする一日当たりの食物繊維量を摂取することがほぼ可能と思われる。

フラクタン含量は根先に向かうほど高くなり、首部は先端部のほぼ半分程度と、部位によって大きな差が認められた(図3~5)。ただし、首部でもフラクタンと細胞壁多糖類を合わせて10 g/100 g以上の食物繊維含量があり、四訂食品成分表の値を上回っており、成分上の問題はないと考えられる。

生育に伴う糖質含量及び組成の消長から、収穫適期についての検討を行った。糖質含量をフルクトース、グルコースにスクロース含量を加えた単糖及び二糖類、低分子のフラクタン(GF2~GF6)、高分子のフラクタン(GF7以上)の3つに区分した¹⁸⁾。

生育中では、葉部から転流してきた同化産物のほとんどが高分子のフラクタンとして蓄積され、それに伴い糖質含量は増加を示したが、生育の後半には減少に転じた。

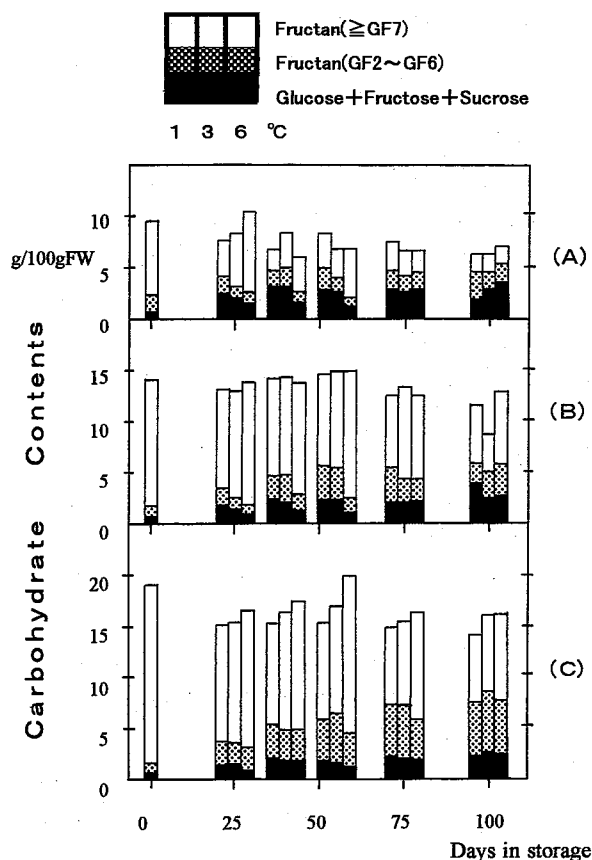


Fig 5 Changes in carbohydrate contents of burdock roots in polyethylene film bag with apples.

(A): Top part, (B): Middle part, (C): Bottom part

しかしながら根重と糖質含量を積算した一本当たりに含まれる糖質量を見ると、生育後半はほぼ一定に推移し、減少は認められない。根部の肥大は葉部が衰え光合成能力が低下する9月以降も旺盛であり、葉からの転流量より根部の増加量が上回り、その結果生育後半に見られた糖質含量の減少につながったと思われる^{7,8)}。

年次間差について見ると、1995年の葉重は1996年に比べて終始多く、この葉重の差が収穫時の根重の90 g差となったと考えられる(図1)¹³⁾。しかし、糖質含量についてはむしろ根重の低い1996年の方が高いことから、旺盛な生育が内部品質には有効には働かなかったと考えられる。このようなことは施肥試験でも報告されており、窒素の増肥は生育後半の草勢を強め葉重と根重の増加を促すが、糖質含量の増加には繋がらず、むしろ減少することが指摘されている¹⁴⁾。

以上のことから勘案すると、晩春まきごぼうの内部品質から見た収穫適期は、糖質含量が最高を示す9月下旬～10月上旬頃と考えられる。また収量を重視する場合は、根重の増加が緩慢となる11月上旬が適期であろう。本試験では検討できなかったが、糖含量が最も高い10月上旬に収穫し一月間貯蔵したごぼうと、一月後の11月上

旬に収穫したごぼうとの間に品質的な違いの有無については興味深い点であり、今後に残された課題と考えられる。

貯蔵中の品質低下には、低湿度が原因と思われる根部の萎びや肉質の軟化がある。本試験では、庫内の湿度をRH 85～95%に設定したが、段ボール区の高湿区において萎びや軟化が顕著となり、重量の減少に伴う糖質含量の増加が示された。糖質含量の多少は呼吸による糖の損失と、根部の表面からの蒸散量によって決まると考えられる。本試験では温度が高く、重量当たりの表面積の割合が大きい根先部ほど糖質含量が多くなることから、蒸散量による影響が大きいことが示唆された(図3)。このように糖質含量は高いものの、観察結果から萎びや軟化は著しく、商品価値は劣った。

そのため貯蔵中の低湿対策として、プラスチックフィルム包装の検討を行った。一般に通気性の低いフィルムの場合、結露による腐敗や炭酸ガス高濃度によるす入りの問題があることから⁵⁾、本試験では水蒸気やガス透過性が比較的高い低密度ポリエチレンフィルム(厚さ0.03 mm)袋を用い、さらに炭酸ガス障害回避のために密封でなく折り込み包装貯蔵とした。その結果、貯蔵124日後でも各貯蔵温度区とも萎びやす入りは認められなかった。しかし萌芽及び発根については段ボール区に比べて伸長が促進され、むしろ品質が劣る結果となった。

貯蔵中の発根や萌芽は植物ホルモンであるオーキシシンにより促進され、エチレンによって阻害される¹¹⁾。ジャガイモ塊茎の萌芽がエチレンによって抑制されるとの報告もあることから¹²⁾、PE区にリングを封入したリング+PE区を設け、貯蔵中のごぼうの萌芽と発根抑制効果について検討した。今回の試験では密封包装貯蔵でないため、常に一定量のエチレンを供給する必要があり、エチレン生成源としてリングを用いた。

リングの品種として「ハックナイン」を選定した理由は、ごぼうとほぼ同時期の10月下旬に収穫することや、ポリエチレン貯蔵で3月下旬まで貯蔵が可能であることから¹²⁾、ごぼうの目標とする貯蔵期間に十分対応ができる点にある。

その結果、リング+PE区は発根及び萌芽の伸長を抑えることができ、1°Cと3°Cで124日間でも萎びや肉質の軟化もなく、ほぼ収穫時に近い鮮度が保持された(表2)。このことは包装内のエチレンの推移からみて、発根及び萌芽抑制はエチレンによる効果であることが明らかである。

以上のことから、ごぼうの最適貯蔵条件は1～3°Cで、0.03 mmの厚さのポリエチレン袋内にリングを封入した折り込み包装と考える。ただし、最適エチレン濃度については、折り込み包装のため貯蔵中において濃度の減

少が散見されるなど、本試験の結果から明らかにすることはできなかった。今後、実用化に向けたエチレン濃度及びごぼう重量当たりのリングの適正個数の検討が必要である。

貯蔵中の糖質含量の特徴的な変化は、低温になるほど単糖類とスクロース含量の増加に伴ってフラクタンが減少することである。低温下でのこのような現象は、同じキク科のヤーコン²⁾やチコリ³⁾でも知られており、多糖類の低分子化によって細胞内の浸透圧が高まり、細胞内凍結を回避するための代謝生理のひとつであろうと推察される¹⁾。食物繊維などの内部品質から貯蔵条件を考えると、最適温度の上限である3℃が最も適すると思われる。

謝 辞：本稿の作成に当たり、御助言をいただいた北海道立上川農業試験場土屋武彦場長および農政部農業改良課水島俊一参事に感謝の意を表します。

引用文献

- 1) AP Rees, T.; Dixon, W. T.; Pollock, C. J. and Franks, F. "Low temperature sweetening of higher plants". Recent Advances in the Biochemistry of Fruits and Vegetable. Academic Press. 1982. p.41-61.
- 2) 浅見輝男, 南沢 究, 土屋哲郎, 狩野佳弥子, 堀幾太郎, 大山卓爾, 久保田正亜, 月橋輝男. "栽培・保存期間中におけるヤーコンのフラクトオリゴ糖など各種糖類の成分変化". 日本土壤肥科学雑誌. 62, 621-627 (1991).
- 3) Ernst, M., Chatterton, N. J. and Harrison, P. A. "Carbohydrate changes in chicory (*Cichorium intybus* L. var. *Foliosum*) during growth and storage". Scientia Horticultrae. 63, 251-261 (1995).
- 4) 飯野久和. "食物繊維の科学". 辻啓介 森文平編. 朝倉書店. 1997. p.131-139.
- 5) 石川 豊. "96 農産物流通技術年報". 農産物流通技術研究会編. 流通システムセンター. 1996. p.102-108.
- 6) 石崎憲一, 弘中和憲. "寒冷地における農産物のトンネル貯蔵". 農業施設. 23, 7-14 (1992).
- 7) 居城幸夫. "ゴボウの空洞に関する研究 (第1報) 各部位の発育経過と空洞の発生について". 宇都宮大学農学部学術報告. 13(1), 111-121 (1985).
- 8) 居城幸夫. "ゴボウの空洞に関する研究 (第3報) 品種と空洞の発生について". 宇都宮大学農学部学術報告. 13(2), 1-8 (1987).
- 9) 香川芳子(監修). "四訂食品成分表". 女子栄養大学出版部. 1997, p.559.
- 10) Kato, Y.; Kanari, T. and Watanabe, T. "Comparative analysis of the carbohydrates in gobo and yamagobo". J. Home Econ. Jpn. 42, 241-249 (1991).
- 11) 増田芳雄. "植物生理学". 培風館. 1997. p.333-339.
- 12) 長尾明宣. "リングの品質保持に関する試験". 農産物流通技術研究会報. 21, 13-16 (1992).
- 13) 西田忠志. "ごぼうの発芽及び生育特性". 北海道立農試集報. 74, 43-51 (1998).
- 14) 西田忠志. "ごぼうの窒素栄養特性と適正施肥量". 北海道立農試集報. 74, 53-61 (1998).
- 15) 乙黒親男, 樋川芳仁, 松野 篤. "ゴボウの生育段階及び品種別理化学成分の変化". 山梨県工業技術センター研究報告. 5, 74-82 (1991).
- 16) 乙黒親男. "ゴボウの部位別理化学成分の比較". 山梨県工業技術センター研究報告. 5, 83-86 (1991).
- 17) Pratt, H. K. and Goeschl, J. D. "Physiological roles of ethylene in plants". Ann. Rev. Plant Physiol. 20, 541-584 (1967).
- 18) Pollock, C. J. "Fructans and the metabolism of sucrose in vascular plants". New Phytol. 104, 1-24 (1986).
- 19) 吉田道夫, 浅野 聡. "野菜の鮮度保持と出荷調整に関する研究 (第8報) ゴボウ及び青クワイのフィルム包装貯蔵". 新潟県食品研究所報告. 23, 11-14 (1988).

Changes in carbohydrate contents of burdock roots during growth and storage

Akinobu NAGAO^{*1} and Tateo TANIGUCHI^{*2}

Summary

Changes in carbohydrate contents of burdock (*Arctium lappa* L. 'Yanagawa-risou') roots during growth and storage were investigated.

Carbohydrate contents, roots and leaves weight during growth were measured for 2 years. The leaves weight of the burdock reached a maximum in early September and then decreased after the adult leaves began to decay from those under position. On the other hand, the root weight increased before harvested in late November, but remained steady thereafter. Carbohydrate contents in roots showed a maximum in early September, followed by a decline thereafter. It seemed carbohydrate contents decreased relatively by the enlargement of the root regardless of the decline in translocation of sugars from the leaves to the roots.

Harvested roots were wrapped in polyethylene film (0.03mm thickness) bags with or without apples and corrugated cardboard boxes, and stored at 1°C, 3°C and 6°C. Polyethylene film bags (PE) were closed only by folding the open end. Changes in carbohydrate contents, weight loss, rooting and sprouting during storage were examined.

Although the PE treatments with or without apple of weight loss remained low regardless of storage temperature, corrugated cardboard boxes treatments of that increased at higher temperature storage. The PE treatments without apples and corrugated cardboard boxes treatment during storage promoted rooting and sprouting at higher temperature. Consequently, PE with apples treatment maintained high quality, marketable roots for 124 days of storage at 1°C and 3°C. Carbohydrates content in the lower part of roots were about 2 times higher than those in the upper part. At all parts of roots, storage at higher temperature and for longer periods was more effective in promoting breakdown and decrease of fructans. Effects of the different wrapping forms on carbohydrate contents and composition during storage weren't clear.

In conclusion, the optimum condition for storage seemed to be wrapping in PE with apples at 1~3°C.

^{*1} Hokkaido Central Agricultural Experiment Station, Naganuma, Hokkaido, 069-1395 (present; Hokkaido Prefectural Kamikawa Agricultural Experiment Station, Pippu Hokkaido, 078-0397, Japan.)

^{*2} *ibid.*