

タマネギにおけるケルセチン配糖体含量の遺伝的変異

岡本大作^{1*}・野口裕司²・室 崇人²・森下昌三²

¹ 北海道大学大学院農学研究科 060-8589 札幌市北区北 9 条西

² 独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構北海道農業研究センター 062-8555 札幌市豊平区羊ヶ丘

Genetic Variation of Quercetin Glucoside Content in Onion (*Allium cepa* L.)

Daisaku Okamoto¹, Yuji Noguchi², Takato Muro² and Masami Morishita²

¹ Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 060-8589, Japan

² National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, Sapporo 062-8555, Japan

Quercetin glucoside content was investigated in the various genetic resources of onion (*Allium cepa* L.). Quercetin glucoside content of long-day cultivars was higher than that of short-day cultivars. Among the long-day cultivars, Rijnsburger cultivars from North Europe and their close relatives had higher quercetin glucoside content than those of Hokkaido and North American origins. Quercetin glucosides were undetectable in all white cultivars. Red onions had a higher quercetin glucoside content than that of their closely related yellow onions. In the Hokkaido, North American and short-day cultivars, quercetin glucoside content, although low, had positive correlation with percent dry matters and bulb diameter. Hence, to breed cultivars with higher quercetin glucosides was considered possible. When this thesis was tested by crossing pollen parents with higher quercetin glucosides with a common seed parent, F₁ progenies with increased levels resulted. From these results, we conclude that high quercetin cultivars can be bred by using Rijnsburger cultivars with high quercetin glucosides and moderate dry matter contents as parents.

Furthermore, quercetin glucoside content had positive correlation with storage, i.e., the percent quercetin-3,4'-D-O-β-diglucoside increased during storage. Some Rijnsburger cultivars showed high quercetin glucoside levels even though they had the same dry matter content as those from Hokkaido.

Key Words: breeding, dry matter, onion, quercetin glucoside, storage.

緒 言

タマネギ (*Allium cepa* L.) に存在するフラボノイド類は、抗酸化性、抗変異原性、血圧上昇抑制、紫外線防御などの機能が明らかにされ (McAnlis ら, 1999)、疾病、特に生活習慣病の予防に有効であることが示唆されている (Hollman・Katan, 1999)。フラボノイドの一種であるケルセチンは野菜に広く含まれ、通常は様々な糖が結合した配糖体の形で存在しており、その生体内における動態や消化、吸収についての研究が進められている (Manach ら, 1998; 室田・寺尾, 2001)。ケルセチン配糖体は、グルクロン酸抱合体などとして吸収され (Moon ら, 2001)、抗酸化性を保持する (Shirai ら, 2001) と報告されている。タマネギはケルセチン配糖体の特異的に多く含有する野菜であり、タマネギを食べることで血中のケルセチ

ン濃度を増加させることが比較的容易である (Hollman ら, 1996; Moon ら, 2000)。貯蔵中もケルセチン総含量は減少せず (Price ら, 1997)、加熱調理によっても、溶出しないかぎり 80% 程度が維持され (Ioku ら, 2001)、タマネギは非常に重要なフラボノイド供給源であると考えられる。実際に、北日本の女性を対象とした報告では、ケルセチン摂取量の約 80% 近くをタマネギから摂取しているとされている (Arai ら, 2000)。

タマネギのりん茎には 1% 以下の微量成分を含めると 9 種類のフラボノイド類の存在が認められているが、全含量の 85% 以上はケルセチン-3,4'-D-O-β-ジグルコシドとケルセチン-4'-D-O-β-グルコシドの 2 種類で占められる (津志田・鈴木, 1995)。これらケルセチン配糖体は、部位別では外側のりん片葉に多く (Patil・Pike, 1995)、各りん片葉内では表皮に多く含まれる (Hirota ら, 1998)。また、その含量について、米国の短日種を中心とした品種間差異 (Patil ら, 1995) や、北海道の長日品種を比較した報告 (Tsushida・Suzuki, 1996) がある。ケルセチン配糖体含量はタマネギの球色によって大きく異なり、一般的

2004 年 10 月 12 日受付. 2005 年 5 月 27 日受理.

* Corresponding author (E-mail: dais@seagreen.ocn.ne.jp).

には赤色種、黄色種、白色種の順に含有量が高いとされている (Tsushida・Suzuki, 1996). しかし、より広い遺伝子型に対して、ケルセチン含量の年次間差、りん片葉形質との関係、遺伝性を含めた調査は行われていない。これまでの国内におけるタマネギ育種では収量性、貯蔵性、耐病性、形状の斉一性などの主要形質について改良が行われてきたが、近年の価格低迷や今後の産地間、国際競争に対処するためには品質面での高付加価値化が必要と考えられる。この点で機能性成分であるケルセチン含量を育種的に高めることには大きな意義がある。

北海道で栽培される長日性タマネギは、年間約 650000 t と国内タマネギ生産量の 50% 以上を占めている。本研究では、長日種を中心とした幅広い遺伝資源について、ケルセチン配糖体含量と配糖体構成比の品種間差異、関連する球形質および貯蔵による変化を調査した。さらに既存交配親系統を用いてケルセチン含量の基本的な遺伝性について調査し、タマネギにおけるケルセチン高含有育種素材の探索ならびに高含有品種育成の可能性について検討した。

材料および方法

1. 供試材料

1) ケルセチン配糖体含量の遺伝的変異

北海道農業研究センター保存の 19 品種のほか、アメリカ農務省 (USDA)、オランダ遺伝資源センター (CGN) からの分譲および国内外種苗会社からの分譲または購入により収集した合計 105 品種を供試した (第 1 表)。調査は 2001 および 2002 年ともにキュアリング後の 10 月下旬 (貯蔵前) に行った。品種は Brewster (1994) の分類を参考に 4 つのグループおよび 9 つの品種群に分類した。すなわち、有色色素をほとんど持たない白タマネギは、球肥大の日長性に関わらず白色群 (グループ IV, 6 品種) とした。残りの品種は日長性により短日群 (グループ III, 15 品種) と長日群 (74 品種) に分類し、長日群はさらに導入先、特性、育成経過を考慮して遺伝的に近いと考えられる品種群をグループ I とグループ II に分けた。グループ I はアメリカ合衆国のノーザン群を導入由来とする北海道群 (17 品種)、主にアメリカ合衆国東部から北部の比較的湿潤な気候で栽培されているノーザン

Table 1. Onion cultivars used in this study.

Group ²	Photo- periodism	Source	Skin color	Cultivars or strains
Group I				
Hokkaido	Long	Japan	Yellow	Early Globe, Frontier, Iomante, Kairyo Ohotsuku No. 1, Kamui, Kitahayate No. 2, Kitakogane No. 2, Kitamiko No. 27, Kitamomiji 2000, Super Kitamomiji, T804, T808, Toyohira, Tsukisappu, Wolf
		Japan	Red	Tsukiko No. 22, W-5
Northern	Long	U.S.A.	Yellow	Mulhause Auxone, Downing Yellow Globe, Yellow Globe Danvers, Pera Yellow, Copra, Criterion, Infinity, Millennium, Newyork Early, Tamara, Festival
		U.S.A.	Red	Red Wing, Red Wethersfield
Yellow Spanish	Long	U.S.A.	Yellow	Daytona, Legend, Prince, Sabroso, Salem
		U.S.A.	Red	Flamenco, Mars, Red long of tropea, Tango
Spanish	Long	U.S.A.	Yellow	Ailsa, Altisimo, Vaquero, Ailsa Craig, Di Milano, Cebola Valenciana Tempora, Cebola Valenciana Tardia, Sweet Spanish
Group II				
Rijns	Long	The Netherlands	Yellow	Sturon, Compas, Rijns Oporto, Sel. Westerloo, Sel. Spalding, Flintstone, Bedfordshire Champion, Rijns.-Sublima, Wolska, Stuttgarter, Zittauer, Zwijndrechtse Poot, Noordhollandse Strogele, Rijns. Zeeuwen, Kasticka, Rijns.-Krano, Rocardo, Gelbe Wiener, Vsetatska, Makoi Nemestetl, Yellow Flatround, Wolska Poland, Iatrus, Strigunovskii, Rijns Vroege, Rijns. Noordhollandse, Bronze Kugel
		The Netherlands	Red	Improved Brunswick, Red Baron, Zur-Robal, Noordhollandse Bloedrode
Australia	Long	Australia	Yellow	Late Brown-Spearwood, Spearwood Late Brown, Yellow Ebenezer
New Zealand	Long	New Zealand	Yellow	Pukekohe Long Keeper, Puke Kohe1, Puke Kohe2
Group III				
Short day	Short	Japan, Asia, Europe, U.S.A.	Yellow	Yellow Skin, Shandaweel 1, Buffalo, Cimarron, Kitahayate, Kitawase No. 3, Senshu kodaka, Awaji chukoki, Chosei, Yellow Skin, Beth Alpha Autumn, San Joaquin, Senshue Yellow
		Japan, U.S.A.	Red	Shonan red, Rio Santiago
Group IV				
White	Long or Short	The Netherlands, White Asia, Europe		Aviv-Perlina, Pompei, Winter Over, Barletta, Blanc de paris Hatif, Hysol

² Groups were defined for convenience by origins and characteristics of cultivars.

群 (13 品種), 主にアメリカ合衆国西部の比較的乾燥した気候で栽培されているスパニッシュ群 (8 品種), およびノーザン群とスパニッシュ群の交雑から生じたと考えられているイエロースパニッシュ群 (9 品種) とした. グループ II は主にヨーロッパ北部, 東部で栽培されるヨーロッパラインズバーガー群 (以下ラインズ群と記す 31 品種), ヨーロッパの品種を導入由来とするオーストラリア群 (3 品種), およびニュージーランド群 (3 品種) とした. できる限り幅広い育種素材を調査することを最大の目的に, 22 個体を試験区に配置し, 分析にはその中の平均的な 5 球を供試した. 調査は, ケルセチン配糖体含量と乾物率について行い, 2002 年度には, さらに球径, りん片葉の厚さ, 1 球重, りん片葉の枚数を調査した.

2) ケルセチン配糖体含量の遺伝性

材料には, 北海道農業研究センターで育成された 4 つの F_1 品種 ‘ツキサップ’, ‘トヨヒラ’, ‘ツキヒカリ’, ‘アーリーグローブ’ および ‘ツキサップ’ と ‘トヨヒラ’ の種子親である 2935A, ‘ツキヒカリ’ と ‘アーリーグローブ’ の種子親である W202A, および各品種の花粉親である K83211, CS3-12, OPP1 および S87-707 を供試した. 2002 年に各品種, 系統の 10 個体を 2 反復してケルセチン配糖体含量を調査した.

2. 耕種概要

調査は独立行政法人農業技術研究機構 (現独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構) 北海道農業研究センターの圃場で 2001 および 2002 年の 2 年間 (関連する球形質と遺伝性については 2002 年のみ) にわたって行った. 播種は 2 月下旬に行い, 約 60 日間育苗した苗を 4 月下旬に圃場へ定植した. 栽植様式は, 条間 30 cm, 株間 10 cm の平畝とし, 肥料は $N:P_2O_5:K_2O=16:38:16$ kg/10a を全量基肥施用した. 収穫は供試品種の熟期に応じて 8 月下旬から 9 月上旬に行い, 遮光した雨よけハウス内にてキュアリングを行った.

3. 貯蔵

材料には第 1 表の 105 品種のうち, 5 月まで貯蔵可能であった 76 品種を供試した. 貯蔵は北海道農業研究センターの貯蔵施設で行い, 温度と湿度の調節は行わなかった. 調査は 2001 および 2002 年の 2 回行い, 貯蔵前 (10 月下旬) と貯蔵後 (5 月下旬) にそれぞれ, ケルセチン配糖体含量と構成比を調査した.

4. ケルセチン配糖体の分析

りん茎は, 保護葉, 萌芽葉および茎盤を除いたのち, 球の中心を通るように垂直に 8 分割し, 部位による差が出ないように考慮して対角に位置する 2 片を各球から採取し, 分析試料とした. 試料はフードプロセッサー (イワタニ IFM-200) で水分が出ない程度に切り刻むと同時に攪拌して均一化した. 細断・均一化された試料 10 g を 100 mL 三角フラスコにとり, 80% メタノールを 80 mL 加えて室温で静置した. 24 時間後にろ紙 (アドバンテック

No.2) でろ過した後, 残渣は再び三角フラスコに戻し 80% メタノールを加えて攪拌洗浄し, ろ過して洗浄液とした. ろ液と洗浄液を合わせて 100 mL に定容した後, 0.45 μ m フィルターでろ過し, 抽出液とした. 分析は, メルク LiChrospher 100RP-18 カラム (4 mm I.D. $\times$ 250 mm) を取り付けた HPLC システム (島津製作所ポンプ LC-10ADvp, 検出器 SPD-M10Avp) に 10 μ L の抽出液を注入して行った. 溶出条件は津志田・鈴木 (1995) に従い, 2% の酢酸を含む 25% のメタノール溶液の濃度を 50 分間に 80% まで直線的に増加させ, 流量は 1.0 mL $\cdot$ min $^{-1}$, 検出波長は 360 nm とした. ケルセチン配糖体含量はケルセチン-3,4'-D-O- β -ジグルコシドとケルセチン-4'-D-O- β -ジグルコシドの標準物質を外部標品に用いて定量した. この 2 種類の合計を全ケルセチン配糖体含量とし, さらにこれら 2 種の配糖体の構成比を求めた. また各品種約 100 g を乾燥器 (80°C) で 1 週間乾燥させて乾物率を求めるとともに, 各個体の球径, りん片葉 1 枚の厚さ, 1 球重, りん片葉の枚数を測定した.

5. 統計処理

ケルセチン配糖体含量の品種間差および貯蔵に伴う変化に関して分散分析を行った. 分析には ANOVA (STATISTICA) を用いた.

結 果

1. ケルセチン配糖体含量と配糖体構成比の遺伝的変異および関連する球形質

第 1 図に供試品種の生体重当たりケルセチン配糖体含量について 2 か年の測定結果を示した. 品種間差異は大きく, 2001 年度は 0~2.20 mg $\cdot$ g $^{-1}$ FW の範囲に, 2002 年度は 0~2.59 mg $\cdot$ g $^{-1}$ FW の範囲に分布した. また年次間には $r=0.81$ ($P<0.01$) の高い正の相関が得られた. 両年次

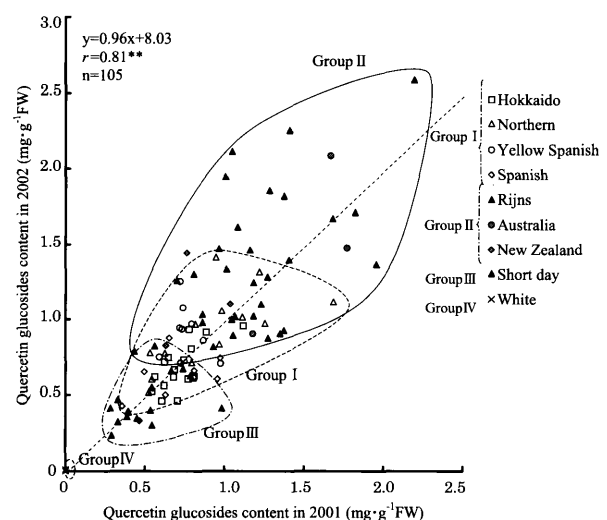


Fig. 1. The relationship of quercetin glucosides content between 2001 and 2002.

において、グループ間には特徴的差異が認められた。すなわち、長日性品種であるグループ I および II は短日性品種であるグループ III よりもケルセチン配糖体含量が高い傾向があり、長日性品種間ではグループ II においてグループ I に比べて高い品種が多かった。また白色種であるグループ IV の含量はすべて検出限界以下であった。第 2 表に、品種群および球色によるケルセチン配糖体含量を 2001 年と 2002 年の平均値で示した。最も含量の高いグループ II では、オーストラリア群が $1.52 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ と最も高く、ラインズ群が $1.27 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ でこれに続き、ニュージーランド群が $0.97 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ と最も低かった。このグループには供試した全品種中で最も高含有である赤色品種 ($2.39 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$) と黄色品種の中では最も高含有である品種 ($1.88 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$) が含まれた。次いで含量の高

いグループ I では、ノーザン群 ($0.93 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$) が最も高く、イエロースパニッシュ群 ($0.84 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$)、北海道群 ($0.70 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$)、スパニッシュ群 ($0.63 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$) という順であった。このグループ内で最も高含有の品種は $1.40 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ (黄色品種) であり、また、北海道群で最も高含有の品種は赤色品種の‘月交 22 号’ ($1.04 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$) であった。グループ III の短日群内で最も高含有の品種は $0.71 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ であり、グループ I および II と比較して高含有品種が少なかった。また同一群内では、赤色品種が黄色品種よりも、ラインズ群で 64%、短日群で 59%、北海道群で 29%、イエロースパニッシュ群で 4% 高い傾向が認められた。一方ノーザン群では、赤色品種の含量が黄色品種のそれを $0.13 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ (14%) 下回った。

乾物率と生体重あたりケルセチン配糖体含量との関係

Table 2. Quercetin glucoside contents of onions from various genetic resources.

Group	Skin color	No. of cultivars	Content of quercetin glucosides ² ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$)		
			Ave.	Min.	Max
Group I		47	0.78	0.39	1.40
Hokkaido	Total ^y	17	0.70	0.53	1.03
	Yellow	15	0.68	0.53	0.90
	Red	2	0.88	0.72	1.03
Northern	Total ^y	13	0.93	0.52	1.40
	Yellow	11	0.95	0.57	1.40
	Red	2	0.82	0.52	1.12
Yellow Spanish	Total ^y	9	0.84	0.67	0.99
	Yellow	5	0.82	0.67	0.99
	Red	4	0.85	0.83	0.88
Spanish	Total ^y	8	0.63	0.39	0.86
	Yellow	8	0.63	0.39	0.86
	Red	0	—	—	—
Group II		37	1.26	0.61	2.39
Rijns	Total ^y	31	1.27	0.61	2.39
	Yellow	27	1.17	0.61	1.66
	Red	4	1.92	1.68	2.39
Australia	Total ^y	3	1.52	1.04	1.88
	Yellow	3	1.52	1.04	1.88
	Red	0	—	—	—
New Zealand	Total ^y	3	0.97	0.73	1.10
	Yellow	3	0.97	0.73	1.10
	Red	0	—	—	—
Group III		15	0.47	0.26	0.71
Short day	Total ^y	15	0.47	0.26	0.71
	Yellow	13	0.44	0.26	0.71
	Red	2	0.70	0.69	0.70
Group IV		6	0	0	0
White	Total	6	0	0	0
Total		105	0.86	0	2.39
	Yellow	85	0.88	0.26	1.88
	Red	14	1.13	0.52	2.39
	White	6	0	0	0

² Average of 2001 and 2002.

^y Total means all samples including yellow and red bulbs.

を第2図に示した。乾物率は、球の硬さや食感に結びつく形質であるほか、貯蔵性、輸送性、加工時の歩留まりなどに関与する重要な形質である。ケルセチンをほとんど含まないグループIV（白色品種）を除く全品種についてみると、乾物率とケルセチン配糖体含量との間には有意な正の相関関係 ($r=0.48$, $P<0.01$) が認められた。グループ別にみると、グループIIIおよびグループIではそれぞれ $r=0.63$ ($P<0.01$) および $r=0.56$ ($P<0.01$) と高く、乾物率が高いほどケルセチン配糖体含量も高い関係が認められた。一方グループIIの相関係数は低く ($r=0.16$)、乾物率とケルセチン配糖体含量との間に有意な関係は認められなかった。

主要な2種のケルセチン配糖体(ケルセチン-3,4'-D-O-

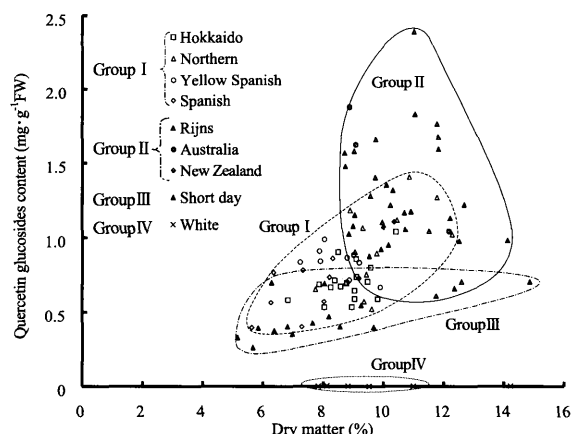


Fig. 2. The relationship between dry matter and quercetin glucoside content of onion.

β -ジグルコシドとケルセチン-4'-D-O- β -グルコシド)の割合を調べた。第3図のように、オーストラリア群、ニュージーランド群においてケルセチン-4'-D-O- β -グルコシドの割合がやや高く、一方、短日群、ラインズ群赤色品種においてケルセチン-3,4'-D-O- β -ジグルコシドの割合がやや高い傾向があったが、2種のケルセチン配糖体はおおよそ等量ずつ含まれ、明らかな品種間差異は認められなかった。

第3表にケルセチン配糖体含量と球形質の相関を示した。ケルセチン配糖体含量と球径、1球重およびりん片葉の厚さとの間に有意な負の相関が認められた。一方、含量と枚数の間には有意な相関が認められなかった。含量を従属変数に、その他の形質を独立変数として重回帰分析を行った結果、球径と乾物率を独立変数とする重回帰式が得られ、含量のおおよそ23%が本重回帰式によって説明された。

2. ケルセチン配糖体の貯蔵に伴う変化

ケルセチン配糖体含量が、貯蔵後の5月に10%以上の増加が認められたものは76品種中49品種、10%未満は14品種、一方、10%以上減少したものが7品種、10%未満が6品種であった。貯蔵前後のケルセチン配糖体含量には、高い相関(第4図)があり、貯蔵後にやや増加する傾向が認められた。ケルセチン配糖体の構成比については、貯蔵前と貯蔵後の間には高い相関(第5図)があり、貯蔵後にケルセチン-3,4'-D-O- β -ジグルコシドの割合が高くなる傾向が認められた。その内訳は、5%以上増加が20品種、5%未満の増加が44品種、一方、減少が11品種(5%未満)であった。分散分析の結果でも貯

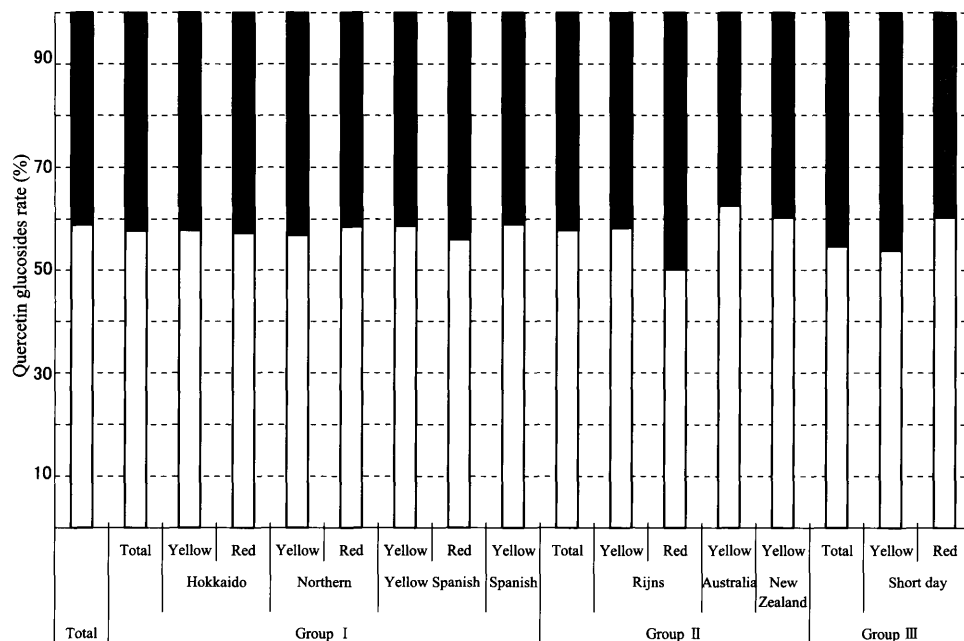
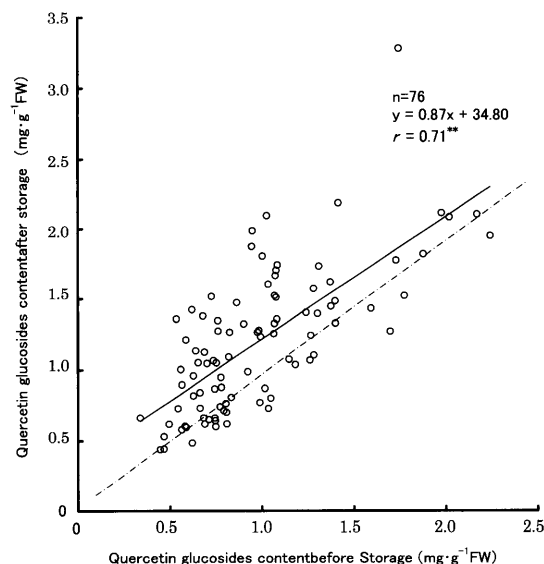


Fig. 3. Composition of two major quercetin glucosides, Q-4'G and Q-3,4'dG in onion. □: Quercetin-3,4'-D-O- β -diglucoiside, ■: Quercetin-4'-D-O- β -glucoside. Q-3,4'dG and Q-4'G amount was converted to quercetin aglycon.

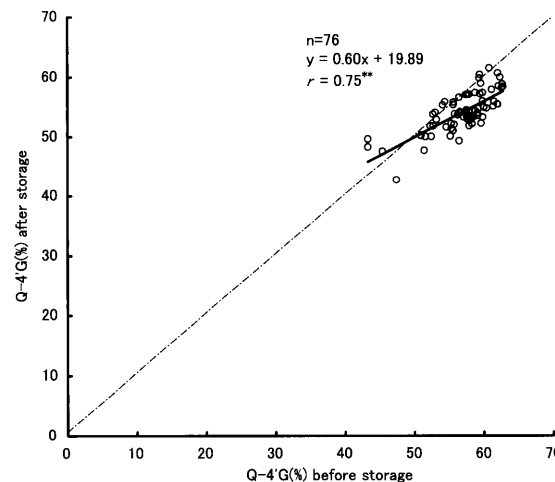
Table 3. Correlation coefficients between quercetin glucoside content and bulb characters of onion harvested in 2002.

	Quercetin content	Dry matter	Bulb diameter	Thickness of scales	Bulb weight
Dry matter	0.380**				
Bulb diameter	-0.405**	-0.357**			
Thickness of scales	-0.235*	-0.065	0.399**		
Bulb weight	-0.376**	-0.525**	0.874**	0.233*	
Number of scales	-0.111	-0.061	0.504**	-0.154	0.432**

* and ** indicate significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively. $Y = -11.98X_1 + 6.52X_2 + 145.14$ (X_1 : Bulb diameter, X_2 : Dry matter).

**Fig. 4.** Change of quercetin glucosides content during storage.

** : significant at $P < 0.01$.

**Fig. 5.** Change of quercetin 4'-glucoside percentage during storage. Q-4'G percentage to total amount of Q-4'G and Q-3,4'dG, converted to quercetin aglycon. ** : significant at $P < 0.01$.

蔵の効果に有意性が認められ (第 4 表), ケルセチン配糖体が貯蔵後に増加することが示された. なお, 品種と貯蔵の相互作用は認められなかった.

3. ケルセチン配糖体含量の遺伝性

F_1 品種とその両親系統のケルセチン配糖体含量を第 5 表に示した. F_1 におけるケルセチン配糖体含量は両親の間に分布したが, 'トヨヒラ'のみ両親より低かった. W202A を種子親とする F_1 ではおおむね中間親に近似したが, 2935A を種子親とする F_1 では中間親よりも低い側に発現し, トヨヒラでは低い側に超優性を示した. また構成比については, 'ツキヒカリ'を除いてケルセチン-4'-D-O-β-グルコシドの割合が F_1 で両親よりもやや高くなる傾向が認められた.

考 察

ケルセチン配糖体含量は, 各グループ内の品種間では調査年次により含有量の順位が異なる場合も認められたが, グループ間の相対的順位は 2 年間にわたりほぼ同一であった. また品種間には大きな差異が認められ, ケルセチン配糖体含量の高い育種素材が存在すると考えられた.

長日性品種の北海道群はおもにノーザン群に分類されるアメリカ合衆国からの導入品種に由来しており (宮浦, 1998), イエロースペイン群はノーザン群とスペイン群との交雑に由来するとされていることから, 以上の 4 品種群は遺伝的に類似していると推測し, 同一のグループ (グループ I) に分類した. このグループ I はグループ II に次いで高いケルセチン配糖体含量を示した.

Table 4. Analysis of variance between cultivar and storage.

Source of variation	df	MS	F-value	P
Cultivar (C)	75	5391.41	9.256	0.000
Storage (S)	1	17490.10	30.025	0.000
Interaction (C × S)	75	484.97	0.832	0.812
Error	152	582.51		

df, Degrees of freedom; MS, Mean Square.

Table 5. Quercetin glucoside content and Q-4'G percentage of parental lines and their F₁ progenies.

Seed parent	Cross combination						F ₁ cultivars	Content (mg·g ⁻¹ FW)	Q-4'G (%)
	Content (mg·g ⁻¹ FW)	Q-4'G ² (%)		Pollen parent	Content (mg·g ⁻¹ FW)	Q-4'G (%)			
2935A	0.52 ± 0.03	56.5 ± 0.4	×	K83211	1.14 ± 0.10	61.0 ± 0.6	Tsukisappu	0.65 ± 0.05	63.2 ± 2.2
			×	CS3-12	0.49 ± 0.02	54.9 ± 0.6	Toyohira	0.41 ± 0.06	63.7 ± 0.6
W202A	0.83 ± 0.07	59.8 ± 0.4	×	OPP1	0.66 ± 0.03	60.9 ± 1.5	Tsukihikari	0.74 ± 0.01	58.2 ± 0.3
			×	S87-707	0.36 ± 0.03	54.0 ± 1.2	Early Globe	0.58 ± 0.04	60.1 ± 0.5

² Q-4'G percentage to total amount of Q-4'G and Q-3,4'dG, converted to quercetin aglycon.

このグループ内において最も高含有の品種は、北海道群の約 2 倍であり、他の形質が北海道群と類似していることから育種素材として有望であると考えられた。北海道群は全て F₁ 品種であり、現在栽培されている品種が中心であるが、ケルセチン配糖体含量が 0.53~1.04 mg·g⁻¹FW、乾物率が 6.8~10.4% と、その変異幅はかなり狭く、遺伝的に類似していると推測された。長日品種のグループ II (ラインズ群, オーストラリア群, ニュージーランド群) に属する品種では、全般的にケルセチン配糖体含量が高く、現在北海道で栽培されている主要品種の 2~3 倍の含量をもつ品種も認められ、高ケルセチン品種育成の素材として有望であると考えられた。冬に野菜が少ないため貯蔵性が重要視されるヨーロッパ北部では、日本やアメリカと比較して小さくて硬いタマネギが好まれる傾向がある (Bosch Serra・Currah, 2002; Brewster, 1994)。このような背景もタマネギの特性に影響を与えたと推察される。このグループ II に属するオーストラリア、ニュージーランドの品種は地理的には大きく隔たっているが、もともとヨーロッパ由来であり、現在でも遺伝的類似性を保っていると推測して同一グループに分類したものである。グループ I に属する北海道品種群とは類縁関係が遠いと考えられることから、ケルセチン含量の改善とともに雑種強勢が期待される。グループ III は、日本、アジア、アメリカ合衆国、ヨーロッパの短日性品種で構成され、これらの品種はケルセチン配糖体含量が低い傾向があった。短日群は北海道の長日条件下では、葉数が十分に分化せずに肥大してしまうことから、その特性を十分に発揮できなかった可能性がある。しかし短日群の品種を、本州の最適日長条件下と北海道の長日条件下で栽培した予備実験の結果では、ケルセチン配糖体含量に大きな差が認められず、十分に生育肥大した球においても短日群の品種は長日群の品種よりも含量が低かった (岡本ら, 未発表)。短日群は、最適条件下においても日長感応により葉分化が比較的早い時期に停止し、りん片葉の肥大を始め、その結果りん片葉数が少なく、りん片葉が厚くなるのに対し、長日群はりん片葉数が多く、りん片葉は薄い傾向がある。ケルセチン配糖体は、りん片葉の表皮組織にその大半が含まれ、柔組織にはほとんど含ま

れないことから、相対的に柔組織の割合の高い短日群の含量が低く、反対に表皮組織の割合が高い長日群で含量が高くなったものと考えられた。

白色種は日長性および導入先に関係なくほとんどケルセチン配糖体を含まず、既報 (Patil ら, 1995; Tsushida・Suzuki, 1996) と一致した。一方、赤色品種では黄色品種よりもケルセチン配糖体含量が高かったと報告されているが (Tsushida・Suzuki, 1996)、本研究においても類似の品種群内においては、赤色品種で含量が高くなる傾向が認められた。なお、保護葉にケルセチンが多く含まれること (Patil ら, 1995) や、今回の調査でもケルセチン配糖体を多く含有する品種は、比較的保護葉の色が濃い傾向が認められたことから、今後は同系色品種において、ケルセチン配糖体含量と保護葉の濃さとの関係についても検討する必要があるだろう。

ケルセチン配糖体含量と高い相関がある形質は、乾物率、球径、1 球重およびりん片葉の厚さであった。さらに重回帰分析によって、ケルセチン配糖体含量への乾物率と球径による寄与率が全体のおよそ 23% であった。ケルセチン配糖体含量と球径、1 球重およびりん片葉の厚さとの間に負の相関が得られたのは、ケルセチン配糖体は表皮組織にほとんどが含まれるが、大きな球ほど表皮組織の割合が小さいことが理由と思われた。しかし、ケルセチン配糖体含量に対する乾物率と球径の寄与率はわずか 23% 程度であり、今後はケルセチン配糖体生成能力などの関与についても検討する必要があるだろう。一方、ケルセチン配糖体含量が多い品種は、小玉で乾物率が高い傾向があり、ケルセチン配糖体高含量タマネギの育成に当たっては、これらの関連形質に配慮しながら選抜を進める必要がある。なお、乾物率が低く、ケルセチン配糖体含量が多い品種は、今回収集した中では見出されなかった。したがって、一般的に生食に向くタイプ (低乾物率) で高ケルセチン含有品種を育成するのは難しいと考えられた。

本研究において貯蔵によってケルセチン配糖体含量が増加する傾向が認められた。このことについては貯蔵中にケルセチン配糖体が新たに生成された、あるいは乾燥による濃縮が起きた可能性があるが、詳細については今

後の研究課題である。また、貯蔵により、ケルセチン-3,4'-D-O- β -ジグルコシドの割合が高くなったことは、貯蔵中に酵素反応により3位へ糖が転移されたことによるものと推測された。配糖の数が増えることは貯蔵能力にも影響があると考えられ、今後配糖の数および位置と休眠性や機能性活性との関係についても検討する必要があるだろう。

‘ツキサップ’と‘トヨヒラ’、‘ツキヒカリ’と‘アーリーグローブ’との関係に見られるように、共通の種子親系統を用いた場合は、ケルセチン配糖体含量の高い花粉親を用いた方がそのF₁での含量は高くなった。しかし、F₁品種のケルセチン配糖体含量は4品種中3品種が種子親と花粉親の間にあり、飛躍的に向上することはなかった。タマネギを材料として可溶性固形分とピルビン酸の遺伝性を調査した報告では、両形質とも量的遺伝をしてF₁はその両親の中間に発現するとされているが(Linら, 1995)、今回も同様に、遺伝的にケルセチン配糖体を多く含有するF₁品種の育成には、含量が極めて高い花粉親系統の選抜が有効であると考えられた。なお‘トヨヒラ’がその両親系統よりも含量が低い理由として、雑種強勢により、りん片葉が厚く、柔組織が肥大して、ケルセチン配糖体が存在する表皮組織の相対的な割合が低くなったことが推測された。

以上の結果、ケルセチン配糖体含量が多い品種は、小玉で乾物率が高い傾向が認められたが、これらのケルセチン配糖体含量に対する寄与率は低いことから、ケルセチン配糖体高含有品種育成の障害にはならないと考えられた。したがって、今回明らかにになったケルセチン配糖体高含有遺伝資源(グループIIのラインズ群)を利用することで、現在のタマネギのケルセチン配糖体含量をさらに高めることは可能であると考えられた。

摘 要

ケルセチン配糖体を多く含有する育種素材の探索ならびに高含有品種育成のために、幅広い遺伝資源について含量を調査した。ケルセチン配糖体含量は長日群で短日群よりも高くなる傾向が認められ、長日群のなかではヨーロッパラインズバーガー品種群およびその近縁品種群で北海道やアメリカ合衆国の品種群よりも高い値を示した。白色品種の含量はすべて検出限界以下であった。同一品種群内では、赤色品種の含量が黄色品種を上回る傾向があった。ケルセチン配糖体含量と球径、乾物率との相関性が認められたが、寄与率は低く、多様な形態的特性を持った高ケルセチン配糖体含有品種の育成が期待できた。ケルセチン配糖体含量について、貯蔵前と貯蔵後の間には高い相関があり、貯蔵後においてやや増加する傾向が認められた。共通の種子親系統を用いた場合は、ケルセチン配糖体含量の高い花粉親を用いた組合せにおいてそのF₁の含量が高くなることから、育種によって含

量を改善することは可能であった。以上の結果、北海道群のケルセチン含量をさらに高めることが可能と考えられる。

謝 辞 本研究の遂行に当たり、元北海道農試の伊藤喜三男博士にご指導いただきました。種子を提供していただいた研究機関、種苗会社を始め、ケルセチン配糖体標準物質を分譲して頂いた独立行政法人食品総合研究所津志田藤二郎博士に感謝の意を表します。

引用文献

- Arai, Y., S. Watanabe, M. Kimira, K. Shimoi, R. Mochizuki and N. Kinae. 2000. Dietary intake of flavonols, flavones and isoflavones by Japanese women and the inverse correlation between quercetin intake and plasma LDL cholesterol concentration. *J. Nutr.* 130: 2243–2250.
- Bosch Serra, A.-D. and L. Currah. 2002. Allium crop science: recent advances. p. 189. In: H. D. Rabinowitch and L. Currah (eds.). *Agronomy of onion*. CABI Publishing, UK, Oxon.
- Brewster, J. L. 1994. Onion and other vegetable Alliums. p. 6–10. CAB International, UK, Oxon.
- Hirota, S., T. Shimoda and U. Takahama. 1998. Tissue and spatial distribution of flavonol and peroxidase in onion bulbs and stability of flavonol glucosides during boiling of the scales. *J. Agric. Food Chem.* 46: 3497–3502.
- Hollman, P. C. H., M. V. D. Gaag, M. J. B. Mengelers, J. M. P. van Trijp, J. H. M. De Vries and M. B. Katan. 1996. Absorption and disposition kinetics of dietary antioxidant quercetin in man. *Free Rad. Biol. Med.* 21: 703–707.
- Hollman, P. C. H. and M. B. Katan. 1999. Dietary flavonoids: intake, health, effects and bioavailability. *Food and Chem. Toxicol.* 37: 937–942.
- Ioku, K., Y. Aoyama, A. Tokuno, J. Terao, N. Nakatani and Y. Takei. 2001. Various cooking methods and the flavonoid content in onion. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 47: 78–83.
- Lin, M.-W., J. F. Watson and J. R. Baggett. 1995. Inheritance of soluble solid and pyruvic acid content of bulb onions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120: 119–122.
- Manach, C., C. Morand, V. Crespy, C. Demigne, O. Texier, F. Regerat and C. Remesy. 1998. Quercetin is recovered in human plasma as conjugated derivatives which retain antioxidant properties. *FEBS Letters* 426: 331–336.
- McAnlis, G. T., J. McEneny, J. Pearce, and I. S. Young. 1999. Absorption and antioxidant effects of quercetin from onions, in man. *Eur. J. Clin. Nutr.* 53: 92–96.
- 宮浦邦晃. 1998. タマネギ. P 286–308. 三分一敬監修. 北海道における作物育種. 北海道共同組合通信社.
- Moon, J.-H., R. Nakata, S. Oshima, T. Inakuma and J. Oshima. 2000. Accumulation of quercetin conjugates in blood

- plasma after the short-term ingestion of onion by women. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 279: 461–467.
- Moon, J-H., T. Tsushida, K. Nakahara and J. Terao. 2001. Identification of quercetin 3-*O*- β -D-glucuronide as an antioxidative metabolite in rat plasma after oral administration of quercetin. *Free Radic. Biol. Med.* 30: 1274–1285.
- 室田佳恵子・寺尾純二. 2001. フラボノイド配糖体は消化管でそのまま吸収されるか? 化学と生物. 39: 213.
- Patil, B. S. and L. M. Pike. 1995. Distribution of quercetin content in different rings of various colored onion (*Allium cepa* L.) cultivars. *J. Hort. Sci.* 70: 643–650.
- Patil, B. S., L. M. Pike and K. S. Yoo. 1995. Variation in the quercetin content in different colored onions (*Allium cepa* L.). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120: 909–913.
- Price, K. R., J. R. Bacon and M. J. C. Rhodes. 1997. Effect of storage and domestic processing on the content and composition of flavonol glucoside in onion (*Allium cepa* L.). *J. Agric. Food Chem.* 45: 938–942.
- Shirai, M., J-H. Moon, T. Tsushida and J. Terao. 2001. Inhibitory effect of a quercetin metabolite, quercetin 3-*O*- β -D-Glucuronide, on lipid peroxidation in liposomal membranes. *J. Agric. Food Chem.* 49: 5602–5608.
- 津志田藤二郎・鈴木雅博. 1995. タマネギに存在するフラボノイド配糖体の分析および化学合成による同定. 日食工誌. 42: 100–108.
- Tsushida, T. and M. Suzuki. 1996. Content of flavonol glucosides and some properties of enzymes metabolizing the glucosides in onion. *Jpn. Food Sci. Technol.* 43: 642–649.