カイワレダイコン(*Raphanus sativus* L. 'Kaiwaredaikon (Japanese radish sprout)')の生育および抗酸化活性に与える給水量の影響

松本恵子¹・多田雄一¹・清水 浩²・澁澤 栄³

¹ 東京工科大学応用生物学部 192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1

² 京都大学大学院農学研究科 606-8502 京都府京都市左京区北白川追分町

³ 東京農工大学農学部 183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8

Effect of Water Supply Levels on Growth and Antioxidative Activity of *Raphanus sativus* L. 'Kaiwaredaikon (Japanese radish sprout)'

Keiko MATSUMOTO¹, Yuichi TADA¹, Hiroshi SHIMIZU² and Sakae SHIBUSAWA³

¹School of Bioscience and Biotechnology, Tokyo University of Technology,
1404-1 Katakura-cho, Hachioji-shi, Tokyo 192-0982, Japan

²Division of Environmental Science and Technology, Graduate School of Agriculture,
Kyoto University, Kitashirakawa-Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto 606-8502, Japan

³Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology,
3-5-8 Saiwai-cho, Fuchu-shi, Tokyo 183-8509, Japan

Abstract

Effect of water supply levels on growth and antioxidative activity of *Raphanus sativus* L. 'Kaiwaredaikon (Japanese radish sprout)' was evaluated. Kaiwaredaikon sprouts were grown for 6 days in a growth chamber under three different water supply levels (soil moisture contents of 60, 70, and 80%, respectively). Under the low water supply condition, hypocotyl length was significantly shorter and fresh weight per plant and moisture content were decreased, while both DPPH (1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical scavenging activity and total polyphenol concentration were significantly increased. It was also found that DPPH radical scavenging activity correlated with total polyphenol concentration. It was suggested that an increase in the polyphenol concentration under low water supply level conditions promoted an increase in DPPH radical scavenging activity.

Keywords: antioxidant, Japanese radish sprout, polyphenol, water supply level

緒 言

近年、がんや糖尿病などの生活習慣病の増加が問題となっている。これらの疾病においては、その予防が肝要であると考えられており、とくに食生活の重要性が再認識されてい

る¹⁾。また、生活習慣病の発症にフリーラジカル(活性酸素)が関与することが示唆されている^{2,3)}。これらのことから、フリーラジカル対策を視野に入れた機能性食品の開発が進められている⁴⁾。

野菜の多くは、ポリフェノールやビタミンC(アスコルビン酸)といった多種の抗酸化物質を含んでおり、フリーラジカルを消去する機能(抗酸化作用)がある。また、多種の野菜を豊富に摂取する食生活は、例えば咽頭がんや食道がんなどについては発がんリスクを低減させることが示唆されている¹⁾。生活習慣病の予防という観点からは、野菜には機能性の向上、

2008年11月17日受付

2009年2月18日受理

Corresponding author: Keiko Matsumoto
(matsumoto@bs.teu.ac.jp)

すなわち抗酸化物質の含有量の増大が求められる。

カイワレダイコンはダイコン（アブラナ科）のスプラウト（発芽直後の幼野菜）であり、イソチオシアネートのほかにポリフェノール、ビタミンC、ビタミンEといった抗酸化物質を含む。このほか、ビタミンB₆を豊富に含む⁵⁾。ビタミンB₆は、血小板凝集と血液凝固反応を抑制することによる血栓症の予防効果や、がん細胞増殖抑制効果が示唆されている⁶⁾。これらのことから、カイワレダイコンは、フリーラジカル対策および成人病予防のための有望な機能性野菜であると考えられる。

アブラナ科野菜については、がんの予防効果を期待できるという多くの報告がある⁷⁻¹²⁾。アブラナ科野菜は含硫化合物のグルコシノレートを含んでおり、これは内生の酵素であるミロシナーゼの働きでイソチオシアネートに変換される¹³⁾。そして、イソチオシアネートは、NADPH oxidase に依存したスーパーオキシドの産生を阻害することやヒトの第2相解毒酵素の活性化を促すことにより、発がんのリスクを低減すると考えられている¹⁴⁻¹⁷⁾。

カイワレダイコンは矮小であること、密植栽培できること、生育に必要な光量が比較的少量で済むことなどから、植物工場（太陽光利用型）での栽培が普及段階にある¹⁸⁾。しかしながら、植物工場における従来の生育環境制御は安定生産を意図したものであり、高付加価値野菜の生産という点を鑑みると、野菜の機能性（例えば抗酸化活性など）を高めるための栽培技術の開発が求められる。

植物の抗酸化物質の含有量を増すことを目指した従来研究のアプローチには、抗酸化物質の生合成に関わる遺伝子に着目したものと栽培条件に着目したものとがある。前者の例として、シロイヌナズナでは、グルコシノレート類の生合成に関わる遺伝子群の転写因子遺伝子の発現を強化することにより、培養細胞レベルではグルコシノレートの含有量が有意に増加したという報告がある¹⁹⁾。後者の例として、ブロッコリーでは、栽培中に照射される光の強度、補光時間の長さ、光質が総ポリフェノール含量に影響したという報告や、養液の電気伝導度がイソチオシアネート含量に影響したという報告がある²⁰⁻²²⁾。また、チャでは土壌が乾燥するにつれて葉のポリフェノール類の含有量が増したことが報告されている²³⁾。これらの従来研究は、生育環境を制御することにより、抗酸化物質の含有量を植物個体レベルで調節しうることを示している。

そこで、本研究では、幼植物の生育に密接に関連すると考えられる根域の水環境に着目し、カイワレダイコンの生育および抗酸化活性に及ぼす給水量の影響について検討した。

材料および方法

1. カイワレダイコンの栽培方法

カイワレダイコン (*Raphanus sativus* L. 'Kaiwaredaikon (Japanese radish sprout)', 中原採種場 (株)) の種子を約5時間、播種前に水に浸した。この浸水処理後、水面に浮いたままの状態の種子を取り除き、残りの種子を播種した。

播種培地には、ピートモスを主原料とする培養土（ジフィーピートパン、サカタのタネ）を用いた。この培養土は、予め滅菌されており、pH調整されている。また、初期生育に十分な肥料が導入されている。肥料の成分量は、窒素 160 g m⁻³、リン酸 160 g m⁻³、カリウム 160 g m⁻³である。この培養土（約45 g）を専用トレー（120 × 180 × 30 mm）に充填した。充填後、後述の所定量を給水した。そして、浸水処理後のカイワレダイコン種子を播種した。播種密度は、約5粒/cm²とした。

カイワレダイコンを栽培室（25℃、70% RH、明暗周期12時間-12時間）にて5日間栽培した。5日間の栽培期間のうち、最初の48時間は上記の専用トレーを遮光材で覆うことにより暗条件にして発芽させた。そして、残りの期間は遮光材を取り払うことにより明条件にして栽培した。栽培室の照明装置には、白色蛍光灯（FLR40SW/M、NEC）を用いた。明条件における光強度（光合成有効光量子束（PPF））は、70 μmol m⁻² s⁻¹とした。なお、PPFの測定には光量子計（光量子計BQM、藤原製作所）を用いた。栽培期間を経た後、カイワレダイコンを収穫し、後述の各種の測定に供試した。

2. 給水量

培養土への給水量を変えることにより3水準の試験区を設定した。すなわち、播種時に300 mlを培養土に給水する300 ml区、播種時に300 mlおよび播種後2日目に200 mlを培養土に給水する500 ml区、播種時に500 mlおよび播種後2日目に200 mlを培養土に給水する700 ml区である。給水には水道水を用いた。これにより、栽培終了時における培養土の含水率は、300 ml区は60%、500 ml区は70%、700 ml区は80%となった（Fig. 1）。

3. 胚軸長、新鮮重、乾物重および含水率の測定

試験区ごとに、収穫したカイワレダイコンから無作為に10個体をサンプリングした。1個体ごとに、デジタルノギス（（株）ミツトヨ）を用いて胚軸長を、精密天秤を用いて新鮮重をそれぞれ測定した。また、炉乾燥（60℃、5日以上）の後、乾物重を測定するとともに植物体の含水率を算出した。

4. 抗酸化活性および総ポリフェノール含量の測定

4.1 試料の調整

カイワレダイコンがサラダなどの生の状態で食されることが

Fig. 1 Soil moisture contents in relation to each water supply treatment. Means with different letters indicate significant differences ($P < 0.01$) by Fisher's LSD test. The bars indicate the standard deviation ($n = 3$).

多いことから、本研究では新鮮試料を測定対象とした。すなわち、各試験区のカイワレダイコン 1 g (新鮮重) を秤量し、乳鉢ですり潰し、80%エタノール 10 ml で抽出した。これらを 4℃ で 2 時間静置した後、遠心 (8000 × g, 5 分間) した。この上清を回収し、粗抽出液を得た。この粗抽出液を、適宜、希釈して以降の分析に供試した。抽出は、1 区あたり 5 反復した。

4.2 抗酸化活性の測定

DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) ラジカル補捉活性測定法は、計測対象範囲が水溶性物質からビタミン E 程度の脂溶性物質までと広く、汎用されている²⁴⁾。そこで、本研究では、カイワレダイコンの抗酸化活性について、粗抽出液の DPPH ラジカル補捉活性を藤江らの方法²⁵⁾ に準じて測定した。すなわち、適宜希釈した粗抽出液 80 μl と 0.2 mM DPPH (和光純薬工業株式会社製) エタノール溶液 80 μl とを混合し、室温、暗所で 30 分間反応させた後、517 nm における吸光度を測定した。リファレンス試料としてトロロックス (Trolox, 80%エタノール溶液) を用い、試料の DPPH ラジカル補捉活性をトロロックス当量 (mg Trolox/g fw: 以下 mg T/g fw と表記) として算出した。なお、以下では、「DPPH ラジカル補捉活性」を単に「抗酸化活性」と表記する。

4.3 総ポリフェノール含量の測定

本研究では、代表的な抗酸化物質のひとつであり、簡便に計測できるポリフェノール類に着目した。カイワレダイコンには、ケンフェロールをはじめとする多種のポリフェノールが含まれるため²⁶⁾、ポリフェノール類の総量 (総ポリフェノール含量) を藤江ら²⁵⁾ の方法に準じて測定した。すなわち、適宜希釈した粗抽出液 1 ml とフォーリン試薬 (MP Biomedicals) 1 ml とを混合し、3 分後に 10%炭酸ナトリウム水溶液 1 ml を加えて攪

拌し、室温で 30 分間静置後に 660 nm における吸光度を測定した。リファレンス試料として D (+)-カテキン (80%エタノール溶液) を用い、試料の総ポリフェノール含量を D (+)-カテキン当量 (mg Catechin/g fw: 以下 mg C/g fw と表記) として算出した。

5. 統計処理

各試験区の測定データの等分散性を、バーレットの方法で検定した。この検定により等分散であるとの結果を得た場合には、給水量を要因として一元配置の分散分析を実施し、多重比較 (Fisher の最小有意差法) を行った。一方、試験区の測定データが等分散ではないとの結果を得た場合には、ノンパラメトリック手法であるクラスカル・ウォリス検定を適用し、多重比較 (Scheffe の方法) を行った。

結果および考察

1. カイワレダイコンの胚軸長、新鮮重、乾物重、および含水率に給水量が与える影響

それぞれの試験区における個体あたりの胚軸長を Fig. 2 に示す。300 ml 区は約 60 mm, 500 ml 区は約 80 mm, 700 ml 区は約 100 mm だった。すべての試験区の間 1%水準で有意な差が認められ、胚軸長は給水量が少ないほど短くなった。次に、それぞれの試験区における個体あたりの新鮮重を Fig. 3 に示す。300 ml 区は約 93 mg, 500 ml 区は約 138 mg, 700 ml 区は約 175 mg だった。すべての試験区の間 5%水準で有意な差が認められ、新鮮重は給水量が少ないほど減少した。次に、それぞれの試験区における個体あたりの乾物重を Fig. 4 に示す。300 ml 区は約 9.7 mg, 500 ml 区は約 9.7 mg, 700 ml 区は約 10.8 mg だった。試験区の間 有意差は認められず、乾物重は給水量によらず一定だった。それぞれの試験区における個体あたりの含水率を Fig. 5 に

Fig. 2 Effect of the water supply level on hypocotyl length of Japanese radish sprouts. Means with different letters indicate significant differences ($P < 0.01$) by Fisher's LSD test. The bars indicate the standard deviation ($n = 10$).

Fig. 3 Effect of the water supply level on the fresh weight of Japanese radish sprouts. Means with different letters indicate significant differences ($P < 0.05$) by Fisher's LSD test. The bars indicate the standard deviation ($n = 10$).

Fig. 4 Effect of the water supply level on the dry weight of Japanese radish sprouts. Means with different letters indicate significant differences ($P < 0.05$) by Fisher's LSD test. The bars indicate the standard deviation ($n = 10$).

Fig. 5 Effect of the water supply level on the water content in Japanese radish sprouts. Means with different letters indicate significant differences ($P < 0.05$) by Scheffe's test. The bars indicate the standard deviation ($n = 10$).

示す。300 ml 区は約 89%, 500 ml 区は約 93%, 700 ml 区は約 94% だった。300 ml 区は、他の区に対して 5% 水準で有意に含水率が減少した。

黒緑豆もやしでは、生育温度が等しい場合には給水量が多くなると生長速度が増加することが報告されている²⁷⁾。本実験においても、胚軸長および新鮮重について、同様の結果を得た (Fig. 2, 3)。また、乾物重は全ての試験区で一定だったことや (Fig. 4)、含水率は給水量が多い区ほど高い傾向を示したことから (Fig. 5)、植物体による吸水量の多寡が新鮮重の増減に影響したことが考えられる。

また、細胞伸長は細胞壁の応力緩和とそれに続く細胞内への水の流入によって引き起こされる²⁸⁾。このことと、個体あたりの乾物重が全試験区においてほぼ一定だったこと (Fig. 4) から、500 ml 区および 700 ml 区では、吸水量の増加によって、伸長生長が 300 ml 区よりも促進されたことが考えられる。また、個体あたりの乾物重が全試験区でほぼ一定だったが、これは、全試験区で光合成有効放射が等しく、光合成による乾物生産量については試験区による差が無かったことが考えられる。

2. カイワレダイコンの抗酸化活性に給水量が与える影響

カイワレダイコンには複数の抗酸化物質が存在しており、例えば、ポリフェノール類²⁶⁾、水溶性のビタミン C、脂溶性のビタミン E などである。近年では、イソチオシアネートの一種である 4-(Methylthio)-3-butenyl Isothiocyanate も、抗酸化活性を示すことが報告されている^{29,30)}。本実験では、これらの物質が総合して示す抗酸化活性を測定した。

Fig. 6 に、それぞれの試験区における新鮮重 1 g あたりの抗酸化活性を示す。300 ml 区は約 3.33 mg T/g fw, 500 ml 区は約 2.05 mg T/g fw, 700 ml 区は約 1.88 mg T/g fw であり、300 ml 区は他の区に対して 1% 水準で有意に高い値を示した。この図から、新鮮重 1 g あたりの抗酸化活性は給水量が少ないほど高くなる傾向を示したことがわかる。

なお、上記の値は新鮮重 1 g あたりの実測値であるので、含水率の影響がある。そこで、含水率の影響を排除して抗酸化活性の変動を評価するため、上記の測定値および乾物重 (Fig. 4) と新鮮重 (Fig. 3) とから算出される乾物率に基づいて乾物重 1 g あたりの抗酸化活性を概算した。その結果、300 ml 区は約 32.3 mg T/g dw, 500 ml 区は約 29.2 mg T/g dw, 700 ml 区は約 30.3 mg T/g dw であり、乾物重 1 g あたりの概算においても 300 ml 区は他の区よりも高い抗酸化活性を示した。一方、500 ml 区は乾物重 1 g あたりの抗酸化活性の概算においては 700 ml 区とほぼ同等であったことから、新鮮重 1 g あたりで 500 ml 区が 700 ml 区よりも高い抗酸化活性を示したのは (Fig. 6) 含水率の低下 (Fig. 5) による濃縮効果の可能性も考えられる。

Fig. 6 Effect of the water supply level on DPPH radical scavenging activities of Japanese radish sprouts. Means with different letters indicate significant differences ($P < 0.01$) by Fisher's LSD test. The bars indicate the standard deviation ($n = 5$).

Fig. 7 Effect of the water supply level on total polyphenol concentration of Japanese radish sprouts. Means with different letters indicate significant differences ($P < 0.01$) by Fisher's LSD test. The bars indicate the standard deviation ($n = 5$).

なお、カイワレダイコン 1 本あたりの抗酸化活性 (mg T/plant) について (以下、「カイワレダイコン 1 本あたり」を「個体あたり」と表記する), 上記の測定値および新鮮重 (Fig. 3) に基づいて概算した。その結果, 個体あたりの抗酸化活性は, 300 ml 区は約 0.312 mg T/plant, 500 ml 区は約 0.284 mg T/plant, 700 ml 区は約 0.329 mg T/plant であった。700 ml 区が最も大きな値を示したが, これは, 個体あたりの新鮮重が最も大きかったためであると考えられる。

3. カイワレダイコンの総ポリフェノール含量に給水量が与える影響

それぞれの試験区における新鮮重 1 g あたりの総ポリフェノール含量を Fig. 7 に示す。300 ml 区は約 4.17 mg C/g fw, 500 ml 区は約 2.69 mg C/g fw, 700 ml 区は約 2.25 mg C/g fw であり, 300 ml 区は他の区に対して 1%水準で有意に高い値を示した。この図から, 抗酸化活性 (Fig. 6) と同様に, 総ポリフェノール含量も給水量が少ないほど高くなる傾向を示したことがわかる。

また, 乾物重 1 g あたりの総ポリフェノール含量について, 上述の抗酸化活性の場合と同様に概算した。その結果, 300 ml 区は約 40.4 mg C/g dw, 500 ml 区は約 38.3 mg C/g dw, 700 ml 区は約 36.3 mg C/g dw であり, 乾物重 1 g あたりの概算においても, 給水量が少ないほどポリフェノール類が蓄積される傾向を示した。

ところで, 土壌の乾燥が植物体に抗酸化物質の蓄積を促した例として, 1 年生のサンザシでは, 灌水を 10 日間停止す

る処理によりポリフェノールの 1 種であるカテキンやエピカテキン含量が葉で高まったことが報告されている^{31,32)}。また, PAL (L-フェニルアラニンアンモニアラーゼ) はポリフェノール類の生合成経路における律速酵素であるが, その活性は光や低温, 傷害などの環境条件によって左右されることが報告されている^{33,34)}。一方, 久保田ら³⁵⁾は, モモ樹において土壌の乾燥も PAL 活性を増大させる一因であることを示唆している。

これらのことから, 本実験においては, 給水量が少ない区ほど植物体が低水分環境に曝されたために, PAL 活性の増大などといった生理的变化が促され, ポリフェノール類の蓄積が促進されて抗酸化活性 (Fig. 6) が上昇したことが推察された。なお, 給水を制限することによる抗酸化活性の高まりや抗酸化物質の蓄積に係わる生理的な要因はいくつか考えられ, ①含水率の低下によって抗酸化物質が生体内で濃縮された ②抗酸化物質の生合成が促進された ③抗酸化物質の分解が抑制されたこと, などである。これらの生理的变化の検討については, 乾物あたりの抗酸化活性および抗酸化物質の実測のほかに関連遺伝子の発現解析なども含めて, 今後の課題として取り組む予定である。

また, 1 個体あたりの総ポリフェノール含量 (mg C/plant) について, 上述の抗酸化活性の場合と同様に概算した。その結果, 300 ml 区は約 0.390 mg C/plant, 500 ml 区は約 0.373 mg C/plant, 700 ml 区は約 0.393 mg C/plant であり, 700 ml 区は 300 ml 区とほぼ等しい値を示したが, これは個

Fig. 8 The relationship between DPPH radical scavenging activities and total polyphenol concentration of Japanese radish sprouts (n = 15).

体あたりの新鮮重が大きかったためであると考えられる。

4. カイワレダイコンの抗酸化活性と総ポリフェノール含量との相関

Fig. 8に、新鮮重 1 g あたりの抗酸化活性と総ポリフェノール含量との相関を示す。図より、新鮮重 1 g あたりの抗酸化活性と総ポリフェノール含量との間には正の相関があることがわかる。また、ピアソンの積率相関係数は $r = 0.98$ (1%水準で有意) であった。なお、Maeda ら³⁶⁾ は、アスパラガスにおいて抗酸化活性と総ポリフェノール含量との間に強い正の相関があることを報告しているが、本実験でも同様の結果となった。

これらのことから、給水量が少なくなるにつれてカイワレダイコンの新鮮重 1 g あたりの抗酸化活性が増大したのは、新鮮重 1 g あたりの総ポリフェノール類含量が増したためであることが示唆された。本研究により、カイワレダイコンの新鮮重 1 g あたりの抗酸化活性を高めるためには、給水量を制限して栽培することが有効であることが示された。

摘 要

カイワレダイコン (*Raphanus sativus* L. 'Kaiwaredaikon (Japanese radish sprout)') の生育および抗酸化活性に与える給水量の影響について検討した。3水準の給水量すなわち 300 ml, 500 ml, 700 ml (栽培試験終了時の土壌含水率はそれぞれ 60%, 70%, 80%) の試験区を設定し、カイワレダイコンを栽培した。そして、それぞれの試験区における胚軸長、新鮮重、含水率、新鮮重 1 g あたりの抗酸化活性、総ポリフェノール含量を測定した。その結果、給水量が少ない区ほど胚軸長は短くなり、新鮮重および含水率は低下した。一方、新鮮重 1 g あたりの抗酸化活性は上昇し総ポリフェノール含量も増大した。また、新鮮重 1 g あたりの抗酸化活性と

新鮮重 1 g あたりの総ポリフェノール含量との間には正の相関があることが認められ、給水量が少なくなるにつれてカイワレダイコンの新鮮重 1 g あたりの抗酸化活性が増大したのは、新鮮重 1 g あたりの総ポリフェノール類含量が増したためであることが示唆された。本研究により、給水量を制限して栽培することは、カイワレダイコンの新鮮重 1 g あたりの抗酸化活性を高めることに有効であることが明らかとなった。

引用文献

- 1) 大澤俊彦, 大東 肇, 吉川敏一. がん予防食品. シーエムシー, 東京. 1-298. 1999.
- 2) 吉川敏一, 河野雅弘, 野原和子. 活性酸素・フリーラジカルのすべて. 丸善, 東京. 1-130. 2000.
- 3) Olinski R, Gackowski D, Foksinski M, Rozalski R, Roszkowski K, Jaruga P. Oxidative DNA damage: assessment of the role in carcinogenesis, atherosclerosis, and acquired immunodeficiency syndrome. *Free Radic Biol Med.* 33(2): 192-200. 2002.
- 4) 二木鋭雄, 吉川敏一, 大澤俊彦. 成人病予防食品. シーエムシー, 東京. 1-349. 2005.
- 5) 香川芳子. 五訂増補食品分析表 2007. 女子栄養大学出版部, 東京. 86-87. 2007.
- 6) 岡 達三. ビタミンの遺伝子発現機構. 山田耕路編著, 食品成分のはたらき. 朝倉書店, 東京. 2004.
- 7) Zhang Y, Talalay P, Cho CG, Posner GH. A major inducer of anticarcinogenic protective enzymes from broccoli: isolation and elucidation of structure. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 89(6): 2399-2403. 1992.
- 8) Zhang Y, Kensler TW, Cho CG, Posner GH, Talalay P. Anticarcinogenic activities of sulforaphane and structurally related synthetic norbornyl isothiocyanates. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 91(8): 3147-3150. 1994.
- 9) Talalay P, Fahey JW. Phytochemicals from cruciferous plants protect against cancer by modulating carcinogen metabolism. *J Nutr.* 131(11): 3027S-3033S. 2001.
- 10) Fahey JW, Haristoy X, Dolan PM, Kensler TW, Scholtus I, Stephenson KK, Talalay P, Lozniewski A. Sulforaphane inhibits extracellular, intracellular, and antibiotic-resistant strains of *Helicobacter pylori* and prevents benzo[a]pyrene-induced stomach tumors. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 99(11): 7610-7615. 2002.
- 11) Lampe JW, Peterson S. Brassica, biotransformation and cancer risk: genetic polymorphisms alter the preventive effects of cruciferous vegetables. *J Nutr.* 132(10): 2991-2994. 2002.
- 12) Talalay P, Fahey JW, Healy ZR, Wehage SL, Benedict AL, Min C, Dinkova-Kostova AT. Sulforaphane mobilizes cellular defenses that protect skin against damage by UV radiation. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 104(44): 17500-17505. 2007.

- 13) 内田浩二, 森光康次郎. アブラナ科野菜特有の第2相解毒酵素誘導物質. 山田耕路編著, 食品成分のはたらき. 朝倉書店, 東京. 54-57. 2004.
- 14) Zhang Y, Talalay P. Mechanism of differential potencies of isothiocyanates as inducers of anticarcinogenic Phase 2 enzymes. *Cancer Res.* 58(20): 4632-4639. 1998.
- 15) Fahey JW, Talalay P. Antioxidant functions of sulforaphane: a potent inducer of Phase II detoxication enzymes. *Food Chem Toxicol.* 37(9-10): 973-979. 1999.
- 16) 中村宜督. イソチオシアネートによるがん予防の可能性: 細胞増殖の選択的制御とその分子機構. 環境変異原研究. 26(3): 253-258. 2004.
- 17) Dinkova-Kostova AT, Fahey JW, Wade KL, Jenkins SN, Shapiro TA, Fuchs EJ, Kerns ML, Talalay P. Induction of the phase 2 response in mouse and human skin by sulforaphane-containing broccoli sprout extracts. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 16(4): 847-851. 2007.
- 18) 高辻正基. 完全制御型植物工場. オーム社, 東京. 1-125. 2007.
- 19) Hirai MY, Sugiyama K, Sawada Y, Tohge T, Obayashi T, Suzuki A, Araki R, Sakurai N, Suzuki H, Aoki K, Goda H, Nishizawa OI, Shibata D, Saito K. Omics-based identification of Arabidopsis Myb transcription factors regulating aliphatic glucosinolate biosynthesis. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 104(15): 6478-6483. 2007.
- 20) 前川健二郎, 前田智雄, 大島千周, 鈴木 卓, 大澤勝次. 数種アブラナ科スプラウトの抗酸化成分含量および抗酸化能に及ぼす照射光強度の影響. 園芸学研究. 5(3): 315-320. 2006.
- 21) 前田智雄, 角田英男, 大島千周, 前川健二郎, 鈴木 卓, 大澤勝次. 補光装置によるアブラナ科スプラウトのポリフェノール含量および抗酸化能の増大. 植物環境工学. 18(1): 35-41. 2006.
- 22) 林 三徳, 山本幸彦, 金丸 隆. カイワレダイコンの栽培条件と形状・品質 -1- 培養液濃度, 栽培日数並びに日照時間の影響. 福岡県農業総合試験場研究報告 B (園芸). 9: 29-32. 1989.
- 23) Hernandez I, Alegre L, Munne-Bosch S. Enhanced oxidation of flavan-3-ols and proanthocyanidin accumulation in water-stressed tea plants. *Phytochemistry.* 67(11): 1120-1126. 2006.
- 24) 永井沙樹, 沖 智之, 吉永 優, 須田郁夫. オレンジ色・濃黄色サツマイモの ABTS ラジカル消去活性. 九州農業研究. 67: 39. 2005.
- 25) 藤江歩巳, 久保田真紀, 梅村芳樹, 大羽和子. 新鮮ハーブのビタミン C 量, DPPH ラジカル捕捉活性およびポリフェノール量. 日本調理科学会誌. 34(4): 380-389. 2001.
- 26) Takaya Y, Kondo Y, Furukawa T, Niwa M. Antioxidant constituents of radish sprout (Kaiware-daikon), *Raphanus sativus* L. *J Agric Food Chem.* 51(27): 8061-8066. 2003.
- 27) 森永泰子, 筒井美穂, 田辺昭子. 黒緑豆の生育, アスコルビン酸量および糖量におよぼす発芽条件の影響. 福岡女子大学家政学部紀要. 18: 7-11. 1987.
- 28) Cosgrove D. 細胞壁: 構造, 構築, 伸展過程. Taiz L and Zaiger E, 植物生理学. 培風館, 東京. 317-344. 2004.
- 29) Barillari J, Cervellati R, Paolini M, Tatibouet A, Rollin P, Iori R. Isolation of 4-methylthio-3-butenyl glucosinolate from *Raphanus sativus* sprouts (kaiware daikon) and its redox properties. *J Agric Food Chem.* 53(26): 9890-9896. 2005.
- 30) Papi A, Orlandi M, Bartolini G, Barillari J, Iori R, Paolini M, Ferroni F, Grazia Fumo M, Pedulli GF, Valgimigli L. Cytotoxic and antioxidant activity of 4-methylthio-3-butenyl isothiocyanate from *Raphanus sativus* L. (Kaiware Daikon) sprouts. *J Agric Food Chem.* 56(3): 875-883. 2008.
- 31) Kirakosyan A, Kaufman P, Warber S, Zick S, Aaronson K, Bolling S, Chul Chang S. Applied environmental stresses to enhance the levels of polyphenolics in leaves of hawthorn plants. *Physiol Plant.* 121(2): 182-186. 2004.
- 32) Kirakosyan A, Seymour E, Kaufman PB, Warber S, Bolling S, Chang SC. Antioxidant capacity of polyphenolic extracts from leaves of *Crataegus laevigata* and *Crataegus monogyna* (Hawthorn) subjected to drought and cold stress. *J Agric Food Chem.* 51(14): 3973-3976. 2003.
- 33) 大橋祐子, 瀬尾茂美. 傷害に対する応答. 寺島一郎編著, 環境応答. 朝倉書店, 東京. 178-186. 2001.
- 34) 森健太郎, 菅谷純子, 弦間 洋. ブドウ '黒王' の成熟期における温度が果実の着色およびアントシアニン関連酵素活性に及ぼす影響. 園芸学研究. 3(2): 209-214. 2004.
- 35) 久保田尚浩, 工藤正吾. モモ果実の渋味とポリフェノール含量に及ぼす土壌乾燥の影響. 園芸学会雑誌. 61(1): 31-37. 1992.
- 36) Maeda T, Kakuta H, Sonoda T, Motoki S, Ueno R, Suzuki T, Oosawa K. Antioxidation capacities of extracts from green, purple, and white asparagus spears related to polyphenol concentration. *HortScience.* 40(5): 1221-1224. 2005.