

サイクロデキストリン合成酵素を利用した穀類中ビタミンEの複合体形成

誌名	日本食品保蔵科学会誌
ISSN	13441213
著者	三輪, 章志 三国, 克彦 三浦, 靖 小林, 昭一 高橋, 幸資
巻/号	40巻4号
掲載ページ	p. 195-200
発行年月	2014年7月

サイクロデキストリン合成酵素を利用した 穀類中ビタミンEの複合体形成

三輪 章志^{*1§}・三国 克彦^{*2}・三浦 靖^{*3}
小林 昭一^{*3}・高橋 幸資^{*4}

* 1 石川県農林総合研究センター農業試験場

* 2 塩水港精糖株式会社糖質研究所

* 3 国立大学法人岩手大学農学部

* 4 国立大学法人東京農工大学農学部硬蛋白質利用研究施設

Complexation of Vitamin E in Grains by Using Cyclomaltodextrin Glucanotransferase

MIWA Shoji^{*1§}, MIKUNI Katsuhiko^{*2}, MIURA Makoto^{*3},
KOBAYASHI Shoichi^{*3} and TAKAHASHI Koji^{*4}

* 1 *Ishikawa Agriculture and Forestry Research Center Agricultural Experiment Station,
295-1 Bo, Saida, Kanazawa 920-3198*

* 2 *Carbohydrate Research Laboratory, Ensuiko Sugar Refining Co., Ltd.,
1-1-1, Fukuura, Kanazawa-ku, Yokohama 236-0004*

* 3 *Department of Agro-Bioscience, Faculty of Agriculture, Iwate University,
3-18-8 Ueda, Morioka, Iwate 020-8550*

* 4 *Scleroprotein and Leather Research Institute, Faculty of Agriculture, Tokyo University of
Agriculture and Technology, 3-5-8 Saiwai-cho, Fuchu, Tokyo 183-8509*

Cyclomaltodextrin glucanotransferase (CGTase) has been efficiently applied to complexation of vitamin E in brown rice (Rice) and unpolished six-row barley (Barley). The results are shown as follows. ① Rice showed a higher vitamin E content than that of Barley, whereas the composition and contents of tocopherol and tocotrienol of Rice were similar to those of Barley. ② Production of cyclodextrin (CD) from Rice with CGTase showed a tendency to increase in cultivars having lower amylose content. ③ CD was produced from Rice and Barley with CGTase below 30% ethanol concentration. The composition of CD depended on the ethanol concentration of and raw material used. ④ The vitamin E-CD complex was produced below 30% of ethanol concentration by treating Rice and Barley with CGTase, and the content of vitamin E in the complex increased with increasing in ethanol concentration. ⑤ The complex exhibited a high water-solubility (about 90% or higher) below 30% ethanol concentration. ⑥ The complex produced in the presence of ethanol exhibited that the antioxidant capacity increased with increasing ethanol concentration to 30%.

(Received Feb. 17, 2014 ; Accepted Jun. 9, 2014)

Key words : *vitamin E, Cyclomaltodextrin glucanotransferase, complexation, grains*
ビタミンE, サイクロデキストリン合成酵素, 複合体形成, 穀類

サイクロデキストリン (Cyclodextrin, CD) は、澱粉にサイクロマルトデキストリングルカノトランスフェラーゼ (Cyclomaltodextrin glucanotransferase; CGTase, EC2.4.1.1) を作用させて得られるグルコースが α -

1, 4 グルコシド結合によって環状に縮合したオリゴ糖である^{1,2)}。CDは、環状構造の内側は疎水性が高いため、種々の疎水性化合物を取り込み、複合体を形成することが知られている³⁾。この特性を利用して、揮発性物質の

* 1 〒920-3198 石川県金沢市才田町戊295-1

§ Corresponding author, E-mail: s-miwa@pref.ishikawa.lg.jp

* 2 〒236-0004 神奈川県横浜市金沢区福浦 1-1-1 横浜金沢ハイテクセンターテクノコア 5 階

* 3 〒020-8550 岩手県盛岡市上田 3-18-8

* 4 〒183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8 国立大学法人東京農工大学農学部内

安定化, 不安定物質の保護, 異臭のマスクング, 水に対して難溶性・不溶性物質の可溶化等に利用されている⁴⁾。

しかし, 通常CGTaseが生成するCDは, グルコースが6, 7, 8残基結合している α -CD, β -CD, γ -CDが主であり, それらのCDが疎水性化合物を取り込む環状構造の内側のサイズは, α -CDで0.45~0.6nm, β -CDで0.6~0.8nm, γ -CDで0.8~0.95nm³⁾とされ, 比較的小さな分子が複合体化できる程度の内径である。そのため, CDで複合体化可能な疎水性分子の大きさは通常限られると理解されている³⁾。たとえば, ビタミンEの一種である δ -トコフェロールは, CDでは包接できない⁵⁾。

しかし, 疎水性ゲスト分子が澱粉鎖と相互作用して澱粉鎖の立体構造に歪が生じるような状況でCGTaseが作用してCD分子が生成する条件では, より大きな分子サイズの疎水性ゲスト分子を取り込んで疎水性成分CD複合体を形成する可能性があると考えられる。そこで, 筆者らは, エタノールを適量添加して澱粉を基質に用いて, CGTaseを反応させることで疎水性成分CD複合体化を可能とし, CD生成と疎水性成分CD複合体化および可溶化が並行して行いいうることを報告し, CDラップ法と命名した⁶⁾。本報告では, このCDラップ法を用いて, 穀類中のビタミンEのCD複合体化(以下, CDラップと略す)と粉末化を試み, その可溶性および抗酸化能を評価することを目的とした。

試料および実験方法

1. 実験試料

δ -トコフェロールは, 和光純薬工業 (Osaka, Japan) から試薬特級を購入して用いた。CDとしてナカライテスク (Kyoto, Japan) から試薬特級 α -, β -および γ -CDを購入して用いた。馬鈴薯澱粉は, 日本澱粉工業 (Kagoshima, Japan) から購入して用いた。CGTase (*Bacillus masearans*由来; EC2.4.1.1) は, 天野エンザイム (Nagoya, Japan) から, コンチザイム, エタノールは関東化学 (Tokyo, Japan) から試薬特級を購入して用いた。抗酸化剤としてブチルヒドロキシトルエン (BHT), ブチルヒドロキシアニソール (BHA), L-アスコルビン酸 (V) は, 和光純薬工業から試薬特級を購入して用いた。アセトニトリル, ヘキサン, ジイソプロピルエーテルは, 和光純薬工業からHPLC用試薬を購入して用いた。

玄米は, 石川県農林総合研究センター農業試験場の圃場で栽培した米品種8試料(糯米として越南糯191号, 朝紫, 低アミロース米としてソフト158, ミルキークイーン, スノーパール, 粳米としてコシヒカリ, はいみのり, 高アミロース米として夢十色)を用いた。玄麦は, 石川県農林総合研究センター農業試験場の圃場で栽培した六条大麦品種2試料(スノーファイバー, ミノリムギ)を用いた。玄米および玄麦は, 粉碎機 (Foss Analytical Inc., Hilleroed, Denmark) を用いて粉碎し

て粉末を用いた。

2. CGTaseによる疎水性食品成分のCDラップ法

玄米または, 玄麦粉末5g, CGTaseを澱粉1g当たり0.4IUおよび所定の濃度のエタノール溶液を加えて全量を100mlとして反応液を調製した。玄米および玄麦の澱粉含量は, 食品成分表の値^{7), 8)}を用いて算出した。反応液を65℃で24h振盪しながら反応させた。反応終了後, 約1,900gで10min遠心分離して約80mlの上清を得た。これを噴霧乾燥機 (Ohkawara Kakohki Co., Ltd., Yokohama, Japan) で吐出温度200℃で乾燥して, 玄米または, 玄麦の試料からのビタミンE-CDラップとした。

3. CDの定量

玄米または, 玄麦の試料からのCDラップ0.1gを1mlの蒸留水で溶解して試料溶液とした。CD組成の測定は, HPLC (Shimadzu Co., Kyoto, Japan) にi. d. 4mm×250mm Wakosil 5NH2 カラム (Wako Pure Chemical Industries, Ltd.) およびRID検出器を装備し, 移動相: 水/アセトニトリル=40/60 (v/v), 流速: 0.8ml/minで行った。

4. ビタミンEの定量

玄米または, 玄麦の試料からのCDラップ1gにエタノール10ml, 1%塩化ナトリウム溶液20ml, 60%水酸化カリウム溶液10ml, 3%ピロガロール溶液100mlを加え, 恒温水槽 (Taitec Co., Koshigaya, Japan) で70℃, 30min振盪して試料をケン化した。酢酸エチル/ヘキサン (1:9 v/v) 溶液100mlを加えて5min振盪抽出した後に, 遠心分離 (約1,400g) を5min行って上清を回収した。沈殿物を再度ケン化および抽出処理して上清を回収した。上清からエバポレーター (Shibata Scientific Technology Ltd., Tokyo, Japan; 40℃, 100rpm/min) で溶媒を留去した後に, ヘキサン3mlで溶解してHPLC分析試料とした。ビタミンE組成の測定は, HPLC (Shimadzu Co.) にi. d. 4mm×250mm Wakosil 5SILカラム (Wako Pure Chemical Industries, Ltd.) およびUV検出器を装備し, 移動相: ヘキサン/ジイソプロピルエーテル=9/1 (v/v), 流速: 1ml/min, カラム温度30℃, UV検出波長: 295nmで行った。

5. 溶解度の測定

水温25℃に保持した蒸留水100mlに対して玄米粉を試料にエタノール濃度別にCGTase反応させて得られたCDラップを5~20g添加して, スターラーで10分間攪拌した。混合液を3,500回転/分で10分間遠心分離して得られた沈殿物を凍結乾燥して沈殿物の重量を測定して, 溶解度を算出した。

6. 抗酸化能測定

CDラップの抗酸化能測定は, ジフェニルピクリルヒドラジル (DPPH) の消去能により求めた。すなわち, CDラップ1gおよび80%エタノール溶液8mlを試験管に採取し, 試験管ミキサーで1min攪拌した後遠心分離 (1,400g, 5min) し上清を回収した。この操作を2回

繰り返した。上清を集め全容を25mlとし抽出試料とした。この試料液2mlに蒸留水1.2mlおよび50%エタノール溶液0.8mlを加え、測定用試料とし、DPPH300 μ l (200 μ M)と反応させ、分光光度計 (Jasco Co., Hachioji, Japan) で520nmの吸光度を光路長10mmの石英セルを用いて測定した。得られたデータからDPPHラジカルを25%消去するのに必要な量 (mg) として抗酸化能を示した。

結果および考察

1. ビタミンE-CDラップの原料としての適性

本研究では、穀類中の疎水性成分であるビタミンE-CDラップ化を行うことを目的としている。そこで、玄米および六条大麦の玄麦のビタミンE含量を比較してビタミンE-CDラップ原料としての適性を評価した。米には多くの品種があることから、まず代表的な8種の品種を選び、玄米粉末のビタミンE含量をトコフェロール類、トコトリエノール類として分析して調べた。その結果をTable 1に示す。ビタミンE含量を品種別に比較すると、紫黒米の「朝紫」が他の品種の2倍以上の含有量で最も高かった。次に巨大胚芽米の「はいみのり」が多く含んでいた。これらの品種はヌカ部分に特徴がある品種である。特に、「朝紫」などの有色米の糯品種は、玄米を加熱すると通常の糯品種に比べて高い割合で玄米粒が爆裂することが報告されている⁹⁾。これは、トウモロコシで爆裂種がポップコーン用に用いられていることと共通すると考えられる。すなわち、爆裂種のトウモロコシ粒の外皮型の品種に比べて硬いため、加熱したときに爆裂しやすい性質を有するためである。このことから、「朝紫」などの有色米の糯品種は、通常の糯品種に比べ糠の

厚みが厚いことが予想される。

一方、巨大胚芽米品種の「はいみのり」は、品種名の通り胚芽部分が通常の品種に比べ大きいことが特徴である。

以上のようにこれらの品種は、他の品種に比べビタミンEが含有されている糠部分の含量が通常の米品種より多いことがビタミンE含量に影響していると考えられる。

他の米品種の総ビタミンE量は、約634~1,082 μ g/gの範囲であったが、品種間で一定の傾向は認められなかった。玄米および六条大麦玄麦に含まれるビタミンEの含量を成分ごとに定量した結果、玄米、六条大麦の玄麦どちらもトコフェロールでは、 α と γ 、トコフェロールでは、 α 、 β 、 γ が含まれており、トコフェロール類よりトコトリエノール類のほうが多く含まれていた。また、総量では、六条大麦の玄麦より玄米の方が多く含まれていた。

本研究では、ビタミンE-CDラップ化にCGTaseによるCDの生成が必須であることから、各品種の米におけるCD生成量を次に調べた。米の品種別のCD生成量は、糯米品種である越南糯191号が最も高く、次いでソフト158、ミルキーQueenなどの低アミロース米であった。

Table 2 The amount of CD obtained from several rice cultivars with CGTase (g/100g of rice flour; Ethanol 0%)

Rice Cultivar	Haiminori	Koshihikari	Milky Queen	Soft158	Etsunan Mochi191
CD Content	1.7	3.4	6.0	6.7	6.9

CD content: total amount of α -, β -, and γ -CDs.

Table 1 Vitamin E contents of several cereals (μ g/g)

Vitamin E	Rice cultivar								Barley cultivar	
	Glutinous rice		Low-amlylose rice			Nonglutinous rice		High-amlylose rice	Fiber-Snow	Minori-mugi
	Etunan-mochi191	Asa-murasaki	Soft158	Milky Queen	Snow-pearl	Koshi-Hikari	Hai-minori	Yume-toiro		
α -Toc	138.4	211.0	140.8	111.7	92.0	47.1	155.0	15.0	77.1	79.6
β -Toc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
γ -Toc	12.0	729.2	17.3	15.1	28.1	149.8	494.2	44.6	22.4	25.6
γ -Toc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	150.4	940.2	158.1	126.8	120.1	196.9	649.2	59.6	99.5	105.2
α -Tocotri	95.5	114.4	93.6	66.4	36.3	84.5	64.1	0.0	250.4	263.8
β -Tocotri	600.1	840.2	478.8	356.2	337.3	543.9	482.3	411.7	82.9	71.9
γ -Tocotri	235.6	443.3	192.9	187.4	140.2	98.7	98.7	408.0	131.9	138.8
γ -Tocotri	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	931.2	1397.9	765.3	610.0	513.8	727.1	645.1	819.7	465.2	474.5
Total Vitamin E	1081.6	2338.1	923.4	736.8	633.9	924.0	1294.3	879.3	564.7	579.7

Toc, tocopherol; Toctri, tocotrienol.

(Table 2)。この結果から糯品種やアミロース含量が低い品種ソフト158, ミルキークイーンほど生成量が高い。これは、米のアミロースに含まれている脂質を包接したアミロースの糊化温度が100℃以上である^{10), 11)}ため澱粉の糊化が不十分でCGTase反応が進みにくいためと考えられる。

以上品種が異なってもビタミンE含量やCD生成量に一部を除いて大きな差異がなかったため、今後の検討には入手しやすい品種として米では、コシヒカリ, 六条大麦では、ミノリムギを用いた。

2. エタノール添加濃度のCGTase反応によるCDラップ形成に対する影響

CGTaseを作用させた反応生成物であるビタミンE-CDラップを得る際に、反応系のエタノール濃度がビタミンEの抽出に影響しうると考えられるので、エタノール濃度を変えてCDラップの調製を試みた。米, 六条大麦どちらもエタノール濃度の上昇に依存してCD生成量が減少し、エタノール濃度5%程度までは影響が小さく30%までCD生成が認められ、40%以上ではCDが全く生成さ

れなかった (Table 3 ; Fig. 1)。したがって、CDの生成からすると、エタノールの添加, 特に高濃度の添加はCGTaseの触媒能の低下, および、CDラップの溶解度の低下をもたらすものと考えられる。CD生成量を米と六条大麦と比較すると、六条大麦のほうが米より3倍以上多く生成した。

また、生成するCDの種類も米では、 α -CDと β -CDの2種類であるのに対して六条大麦は、エタノール濃度5%までは、 γ -CDの生成も認められた。さらに、 α -CDと β -CDの生成量比が、米は、エタノール濃度0~5%では、 β -CDのほうが多く生成したが、10%以上では、 α -CDのほうが多く生成され、エタノール濃度により生成されるCDの種類と量に変化した。それに対して、六条大麦は、CDを生成できるすべてのエタノール濃度で β -CDのほうが多く生成され、米と六条大麦では、CDの生成状況が異なった。これは、米澱粉の糊化温度が65℃¹²⁾であるのに対して六条大麦澱粉は60℃¹³⁾であり、糊化温度が低い六条大麦のほうがCGTaseに対する反応性が高かったためと考えられる。

Table 3 Effect of ethanol concentration on the CD content (mg/g) of the reaction product obtained from rice and barley by CGTase-treatment (mg/g)

Ethanol (%)	Rice (Koshihikari)				Barley (Minorimugi)			
	α -CD	β -CD	γ -CD	Total	α -CD	β -CD	γ -CD	Total
0	14.0	20.4	0.0	34.4	42.8	50.7	10.3	103.8
5	14.4	16.2	0.0	30.6	38.7	43.1	6.0	87.8
10	14.7	7.4	0.0	22.1	32.3	39.2	0.0	71.5
20	9.7	2.4	0.0	12.1	25.6	28.3	0.0	53.9
30	7.0	1.5	0.0	8.5	10.6	14.9	0.0	25.5
40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Table 4 Effect of ethanol concentration on the vitamin E content (μ g/g) of the CD complexation obtained from rice and barley by CGTase-treatment

Ethanol (%)	Rice (Koshihikari)				Barley (Minorimugi)			
	0	10	20	30	0	10	20	30
α -Toc	0	8.8	22.5	28.1	0	67.6	169	256.2
β -Toc	0	0	0	2.6	0	0	0	5.4
γ -Toc	0	2.3	8.7	12.5	0	27.1	67.8	120.6
δ -Toc	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	11.1	31.2	43.2	0	94.7	236.8	382.2
α -Tocotri	0	1.9	9.7	12.8	12.4	187.7	469.3	924.2
β -Tocotri	15.2	473.1	716.1	830.2	0	37.5	93.7	172.2
γ -Tocotri	0	7.8	60.7	75.2	5.7	105	262.6	348.6
δ -Tocotri	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	15.2	482.8	786.5	918.2	18.1	330.2	825.6	1,445
Total vitamin E	15.2	493.9	817.7	961.4	18.1	424.9	1,062.4	1,827.2

Toc, tocopherol; Tocotri, tocotrienol.

次にビタミンE含量と組成を調べた。米，六条大麦ともにエタノールを含まない場合は，得られたCDラップに含まれるビタミンEは，1 g 当たり米で15.2 μ g，六条大麦で18.1 μ gとごくわずかであった (Table 4 ; Fig. 1)。エタノールを加えると，その濃度が高いほどビタミンE含有量が増加した。その組成を見ると，米，六条大麦どちらにおいても，トコフェロールでは，エタノールの添加によって α と γ ，トコトリエノールでは， α ， β ， γ の生成が確認された。しかし，エタノール濃度が35%以上になると，CDおよびビタミンEどちらもほとんど認められなかった。

以上のことから，CDの生成が起こる範囲で適量のエタノールの添加は，ビタミンEのCDラップ化に有効と考えられた。

3. ビタミンE-CDラップの特性

米を原料として得られたCGTase反応生成物であるCDラップの可溶性を評価するために，水に対する溶解度を測定した。CDラップの調製にエタノールの影響が認められたので，エタノール濃度を変えて測定し比較した。エタノールを含まない場合，易溶性を示し，試料濃度が15 g /100mlまで完全に溶解した (Fig. 2)。このとき水面に油状物質が認められなかったので，本反応生成物に含まれる脂溶性成分であるビタミンEは，親水化されて水に分散していると考えられる。したがって，本反応生成物中のビタミンEは，CDとCDラップを形成して水に対する分散性が向上したと考えられる。CDラップの水に対する溶解量は，エタノール濃度20~30%では，すべての添加量で溶解量は，100%であった。これに対してエタノール濃度0~10%では，添加量が20 g /100mlに増加すると溶解量は，約93%に低下した。これは，Table 3に示すようにエタノール濃度が10%以下の場合CDラップに含まれるCDが水に対する溶解性の低い β -CDが多くなるためと考えられる。

CDラップはビタミンEを相応量含有するので，抗酸化能を有することをDPPH法でラジカル消去能として評価した。米，六条大麦のどちらのCDラップも抗酸化能を示し，エタノール濃度が高い条件で得られたCDラップほど強かった (Fig. 3)。既存の抗酸化剤と比較すると，米，六条大麦のどちらもエタノール濃度10%以上で得られたCDラップは，BHTより強い抗酸化能を有していた。六条大麦のエタノール濃度20%以上で得られたCDラップは，BHAやビタミンCに近い抗酸化能を示した。これは，米に比べ六条大麦のほうがビタミンE含有量がエタノール濃度20%で約1.3倍，30%で約1.9倍多いこととよく一致する (Table 4)。したがって，本CDラップは，水に可溶性な食品抗酸化素材として活用しようと考えられる。

以上の結果より，玄米や玄麦粉中の疎水性脂溶性成分であるビタミンEを適度の濃度のエタノール溶液中で澱粉が糊化可能な温度65 $^{\circ}$ CでCGTaseを反応させる本方法

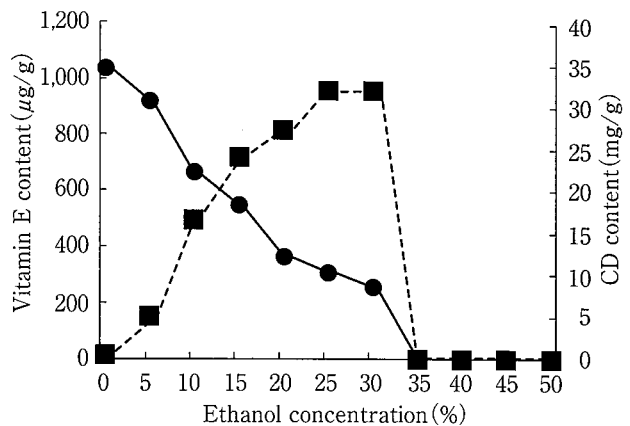


Fig. 1 Changes in the vitamin E and CD contents of the CD complexation obtained by treating rice with CGTase at various ethanol concentrations

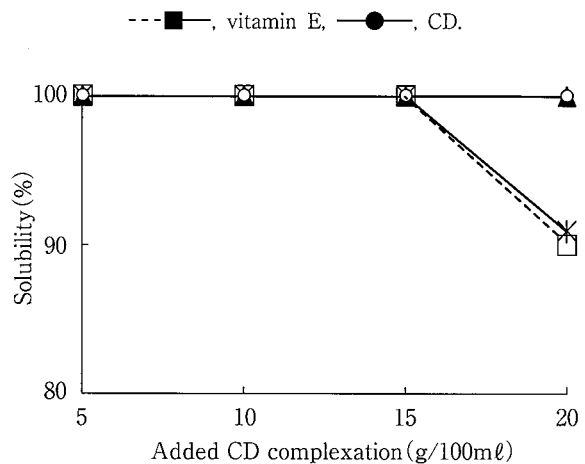


Fig. 2 Water-solubility of the CD complexation obtained by treating rice with CGTase at various ethanol concentrations

—*—, 0%; —□—, 10%; —▲—, 20%; —○—, 30%.

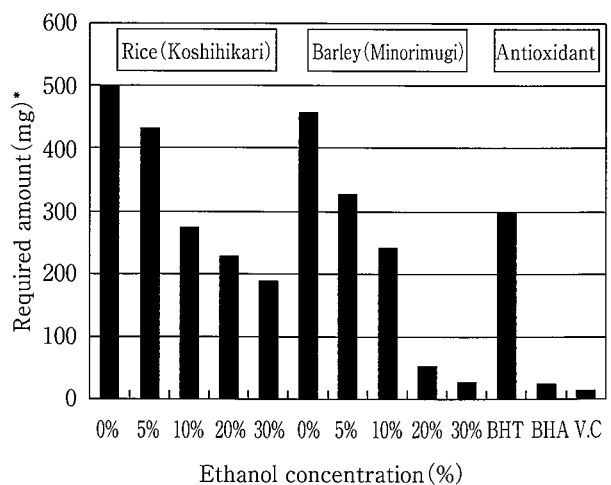


Fig. 3 Antioxidant capacity of the CD complexation obtained by treating rice and barley with CGTase at various ethanol concentrations

*, the amount of the reaction product needed to quench 25%, of DPPH radical; BHT, butylhydroxytoluene; BHA, butylhydroxyanisole; V. C, vitamin C.

は、ビタミンEの抽出、澱粉の糊化、CGTase反応およびCDとのCDラップ化反応の4つの単位操作を一度に行う高効率な処理と考えられる。また、本反応は、CD標品を用いてはラップ化できないビタミンEを食品原料から直接ラップ化し、水溶性で抗酸化能を保持して粉末化する新技術でもあり、その粉末化によって錠剤サプリメントから食品の加工工程のみならず食卓上における利用も可能とし、従来の利用の拘束を打破した技術として期待できる。

今後は、実用化に向けて酵素濃度などの反応条件を検討する。

文 献

- 1) FRENCH D.: Schardinger dextrins. *Adv. Carbohydr. Chem.*, **12**, 189~260 (1957)
- 2) SEJTLI, J. : Types, formation and structures of inclusion complexes in cyclodextrins and their Inclusion complexes (Akademiai Kiado, Budapest) 95~235 (1982)
- 3) 橋本 仁: サイクロデキストリンの食品への利用. *調理科学*, **19**, 29~33 (1986)
- 4) DUCHEN, D.: The use of cyclodextrins in various industries, cyclodextrins and their industrial uses (Sante, Paris), 297~350 (1987)
- 5) OKUDA, Y., KUBOTA, Y., K OIZUMI, K., HIZUKURI, S., OHFUJI, T. and OGATA, K.: Some properties and the inclusion behavior of branched cyclodextrins, *Chem. Pharm. Bull.*, **36**, 2176~2185 (1988)
- 6) 三輪章志・亀山真由美・小林昭一: サイクロデキストリン合成酵素の作用による δ -トコフェロールとサイクロデキストリンの複合体形成, *J. Appl. Glycosci.*, **55**, 21~24 (2008)
- 7) 科学技術庁資源調査会編: 五訂日本食品標準成分表 (大蔵省印刷局, 東京), p.30 (2000)
- 8) 科学技術庁資源調査会編: 五訂日本食品標準成分表 (大蔵省印刷局, 東京), p.40 (2000)
- 9) 吉田恭子・三輪章志・黒田 晃・梅田清彰: 有色素米の爆裂条件と品種間差について, *北陸作物学会報*, **42**, 51~54 (2007)
- 10) MIWA, S., ODA, H., TAKAYA, T. and NISHINARI, K.: Effect of defatting of rice on the gelatinization (Hydrocolloids-Part 1, Elsevier Science B. V., Amsterdam, Netherlands), pp.325~330 (2000)
- 11) 奥田将生: 米のデンプン構造と醸造特性・気象条件との関係, *生物工学*, **90**, 227~230 (2012)
- 12) 三浦芳助: 熱分析によるデンプンの糊化・老化特性の解析, *広島女学院大学論文集*, **53**, 79~87 (2003)
- 13) 唐漢 軍・吉田豊和・渡辺克美・光永俊郎: 大麦デンプンの特性について, *近畿大農総研報*, **5**, 137~143 (1997)

(平成26年2月17日受付, 平成26年6月9日受理)