

## Amylose와 Cyclodextrin 및 Lipid의 Complex 형성 특성

노희진 · 박천석 · 권미라 · 문태화 · 박관화

서울대학교 식품공학과, 농업생물신소재연구센터

### Characteristics of Amylose-Lipid and Cyclodextrin-Lipid Complexes

Hoe-Jin Rho, Chun-Soek Park, Mee-Ra Kweon, Tae-Wha Moon and Kwan-Hwa Park

Department of Food Science and Technology, Research Center for  
New Bio-Materials in Agriculture, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

#### Abstract

The characteristics of amylose-lipid complex(AL-complex) and cyclodextrin-lipid complex(CL-complex) were investigated by using Differential Scanning Calorimetry(DSC). The enzymatic hydrolysis of amylose which was liberated from AL-complex by the addition of  $\beta$ -cyclodextrin( $\beta$ -CD) was also studied. The melting temperatures of AL-complex in corn, wheat, and rice starch were above 100°C and there were no differences among them. In the presence of lysolecithin, the melting enthalpy and temperature of AL-complex were increased and lysolecithin was very effective in the formation of AL-complex. When  $\beta$ -CD was added to AL-complex, the endothermic peak of AL-complex at 100°C decreased and that of CL-complex at 70°C appeared. These results indicated that the amylose was released from AL-complex by substituting  $\beta$ -CD for amylose, then by forming CL-complex. As the added amount of  $\beta$ -CD increased, the peak of AL-complex decreased whereas that of CL-complex increased. Enzymatic hydrolysis rate of AL-complex increased in the presence of  $\beta$ -CD, suggesting that amylose was dissociated from AL-complex and hydrolyzed by amylase.

Key words: AL-complex, CL-complex, DSC, lysolecithin, cyclodextrin, enzymatic hydrolysis rate

## 서 론

전분은 아밀로오스와 아밀로펩틴으로 이루어져 있는 테<sup>(1)</sup>, 아밀로오스는 수천개의 포도당 분자로 되어 있는 선형 결합체로서 분지된 가지수가 적으며 iodine, fatty alcohols, fatty acid, lysolecithin 혹은 여러가지 유기화 합물들과 결합하여 helical inclusion complex를 형성한다<sup>(2~5)</sup>. 또한 전분은 주로 phospholipid인 lysolecithin으로 구성되어 있는 약 1% 정도의 지질을 함유하고 있으며 대부분이 아밀로오스와 complex를 이루고 있다.

Amylose-lipid complex(AL-complex)는 전분의 호화온도를 증가시키며 전분으로부터 아밀로오스 용출을 억제하고 전분의 노화 저연에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다<sup>(6~8)</sup>. 또한 AL-complex는 침전현상을 야기하며 효소에 의해 분해되지 않아 전분 산업에 있어서 당화공정 중 이 침전물의 제거는 매우 어렵다고 보고되어 있다<sup>(2)</sup>. AL-complex에 대한 연구는 X-ray diffractometer, iodine-binding capacity, viscometry, optical rotation, 효소분해

법 등이 널리 이용되어 왔으나<sup>(9~11)</sup> 최근, Differential Scanning Calorimetry(DSC)를 이용한 연구들이 많이 이루어지고 있다<sup>(3,12~14)</sup>. AL-complex의 형성은 발열반응으로 전분의 호화과정 중에 일어나며, 생성된 complex는 90~110°C 사이의 높은 온도 범위에서 용융되는데, 이 때 흡열되는 enthalpy가 peak로 나타나며 이런 특성은 amylose의 정량에 이용되기도 한다<sup>(3,12)</sup>.

한편 cyclodextrin도 lipid와 inclusion complex를 형성하여 팽윤력, 용해도, 아밀로오스 용출, 점도 등 전분의 특성을 향상시킨다<sup>(15~17)</sup>. Cyclodextrin을 AL-complex에 가하여 가열하면 아밀로오스대신에 cyclodextrin이 치환되어 cyclodextrin-lipid complex(CL-complex)가 생성되며 이 CL-complex는 녹는점이 80~100°C로 AL-complex보다 낮고 melting enthalpy도 크게 달라진다고 보고되어 있다<sup>(15,18)</sup>.

이제까지 이루어진 AL-complex에 대한 연구들은 주로 AL-complex 자체의 열특성에 대한 것들로서 이 complex가 전분내에서의 호화현상에 미치는 영향에 대하여는 연구가 미흡하며 cyclodextrin을 첨가했을 때 AL-complex로부터 CL-complex로 전이되는 현상과 이때 치환되어 유리된 amylose의 이용에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 전분내에서의 AL-complex 용융,

lysolecithin 첨가가 AL-complex 형성에 미치는 영향, cyclodextrin의 첨가에 의한 CL-complex로의 전이 현상, 그리고 CL-complex 형성에 따라 해리된 아밀로오스의 효소에 의한 가수분해도를 살펴보고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

쌀전분은 다수화계 태백을 농촌진흥청에서 분양받아 분리하여 사용하였다. 옥수수 전분은 Hayashi Pure Chem. Ind. Ltd.(Japan)제품을 사용하였고 밀 전분은 선일포도당으로부터 공급받아 사용하였다.  $\beta$ -cyclodextrin과 lysolecithin은 Sigma Chem.(U.S.A.),  $\alpha$ -amylase(Termamy)는 NOVO로부터 구입하여 사용하였다.

### Differential Scanning Calorimetry(DSC)

DSC는 thermal analyzer STA 785 model(Stanton Redcroft사, 영국)을 사용하였다. Indium을 사용하여 온도보정을 하고 보정상수(calibration coefficient)를 결정하였다. 고와 박<sup>(12)</sup>의 방법에 따라 3가지 전분시료 각각을 적당량씩 hermetic aluminum pan에 직접 넣고 중류수를 시료의 2배 되게 micropipette으로 가한 후 밀봉하였다. Reference pan은 10~15  $\mu$ l의 glycerol을 넣어 밀봉한 후 사용하였다. 30°C에서 130°C까지 10°C/min의 속도로 가열하였으며 감도는 8  $\mu$ V/cm로 하였고 1차 가열하여 식힌 다음 다시 2차 가열은 동일조건에서 행하였다. Endothermic peak의 면적으로부터 enthalpy를 계산하였다.

### AL-complex 및 CL-complex 형성

AL-complex 형성에 대한 lysolecithin의 효과를 살펴보기 위하여 lysolecithin을 전분 시료에 대해 5% 비율로 첨가한 후 위와 동일한 조건으로 DSC를 실시하였다. 한편 순수한 아밀로오스를 사용하여 Carlsson 방법<sup>(13)</sup>에 따라 다음과 같이 AL-complex를 제조하였다. 70°C의 1M NaOH 50 ml에 1g의 아밀로오스를 녹인 후 9% HCl로 중화하고 동일온도에서 천천히 계속 교반하면서 1% lysolecithin 20 ml를 가해준 다음 침전물이 형성되었을 때 1% 아밀로오스액을 더 가하여 지질에 대한 아밀로오스의 비율이 5:1이 되도록 한 후 냉동건조하였다. CL-complex는 아밀로오스대신  $\beta$ -CD를 사용하여 제조하였으며 DSC를 이용하여 AL-complex 및 CL-complex 형성을 구별하였으며 이때 시료의 양은 2~3 mg 사용하였고 중류수는 10  $\mu$ l를 가하여 실험 하였다. AL-complex로부터 CL-complex의 전이를 알아보기 위하여 옥수수전분에 lysolecithin과  $\beta$ -CD를 일정농도로 첨가하여 동일조건으로 DSC를 이용하여 확인하였고 AL-complex에  $\beta$ -CD의 첨가량을 1:2로 하였으며 0~3.5 mg까지 변화시켜 CL-complex로의 전이를 살펴보았다.

### Amylose의 가수분해

$\beta$ -CD의 첨가에 의해 AL-complex로부터 해리된 amylose의 효소에 의한 분해도는 AL-complex에  $\beta$ -CD를 첨가한 후  $\alpha$ -amylase를 가하고 90°C에서 30분간 반응시킨 후 DNS 방법<sup>(20)</sup>으로 550 nm에서의 흡광도를 측정하여 가수분해속도를 결정하였다.

## 결과 및 고찰

### 전분내 amylose-lipid complex의 용융

옥수수 전분, 밀 전분, 쌀 전분 각각에 2배의 물을 첨가하여 130°C까지 1차 및 2차 가열하여 얻은 DSC thermogram은 Fig. 1의 A와 같고 열역학적인 테이터는 Table 1에 정리하였다. 첫번째 peak는 전분의 호화 상 전이 현상을 나타내는 것으로 호화 개시 온도는 옥수수 전분 66.5°C, 밀 전분 56.0°C, 쌀 전분 64.9°C였으며 호화 enthalpy는 각각 2.59 cal/g, 2.08 cal/g, 2.49 cal/g이었다. 100°C 전후의 온도에서 나타나는 두번 째 peak는 AL-complex의 용융흡열곡선으로 AL-complex의 용융 엔탈피( $\Delta H_f$ )는 옥수수 0.20 cal/g, 밀 0.31 cal/g, 쌀 0.24 cal/g이었다(Table 1). 1차 가열시킨 sample pan을 실온까지 냉각시킨 후 다시 가열하였을 때 첫번째 호화 peak는 나타나지 않았으나 두번 째 peak는 다시 나타났다. 이는 AL-complex의 용융 현상은 가역 반응이므로 2차 가열에서도 흡열곡선이 나타나고 옥수수 전분, 밀전분, 쌀 전분 모두 상당량의 AL-complex가 존재함을 보여주었다.

### Lysolecithin 첨가에 의한 AL-complex의 형성

전분에 대해 무게비로 5%의 lysolecithin을 첨가한 후 얻은 DSC thermogram은 Fig. 1의 B와 같다. 호화 개시

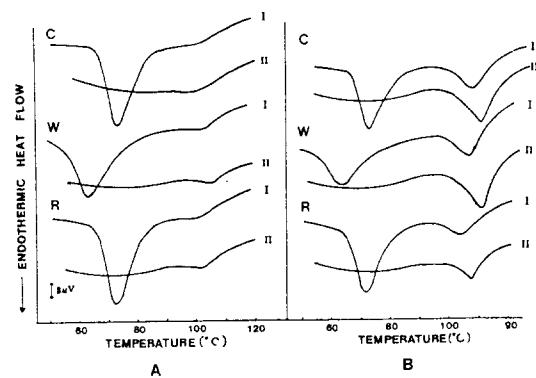


Fig. 1. DSC thermograms of various starches with and without lysolecithin

For each sample, water and starch were mixed at the ratio of 2:1. Panel A, without lysolecithin; panel B, with lysolecithin. C, corn starch; W, wheat starch; R, rice starch. I, 1st heating; II, second heating.

Table 1. DSC characteristics of various starches with and without lysolecithin

		Without lysolecithin							
		Peak I				Peak II			
		T <sub>o</sub> (°C)	T <sub>p</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	ΔH <sub>1</sub> (cal/g)	T <sub>o</sub> (°C)	T <sub>p</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	ΔH <sub>2</sub> (cal/g)
Corn	I	66.5	73.0	83.5	2.55	93.0	101.5	111.0	0.20
	II					89.0	98.5	106.0	0.26
Wheat	I	56.0	63.0	76.5	2.38	91.0	103.0	109.1	0.31
	II					97.5	105.0	111.0	0.32
Rice	I	64.9	71.5	81.0	2.49	90.7	100.2	106.9	0.24
	II	92.5	101.5	108.5	0.29				

		Without lysolecithin							
		Peak I				Peak II			
		T <sub>o</sub> (°C)	T <sub>p</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	ΔH <sub>1</sub> (cal/g)	T <sub>o</sub> (°C)	T <sub>p</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	ΔH <sub>2</sub> (cal/g)
Corn	I	65.0	71.5	84.5	2.15	98.0	107.0	114.0	0.99
	II					97.5	111.0	116.0	1.43
Wheat	I	56.0	63.0	73.0	1.23	98.0	107.0	114.0	0.84
	II					102.0	110.0	115.0	1.09
Rice	I	64.5	71.5	82.0	2.21	96.0	104.5	112.0	0.56
	II		101.5	107.5	113.0	0.67			

I and II indicate the first heating and the second heating, respectively.

Peak I and Peak II represent the first and the second endotherm, respectively.

및 종료 온도는 무첨가구와 거의 유사하였으나 호화 enthalpy는 옥수수 전분의 경우 2.55 cal/g에서 2.15 cal/g으로, 밀전분은 2.38 cal/g에서 1.23 cal/g으로, 그리고 쌀 전분은 2.49 cal/g에서 2.21 cal/g으로 크게 감소하였다 (Table 1). Kugimiya 등<sup>(3)</sup>은 potato 전분에 lysoleicithin을 첨가하였을 때 호화엔탈피가 감소되었다고 보고하였으며 이는 complex가 형성될 때 발열된 열량 때문이라고 설명하였다. 반면 AL-complex의 용융엔탈피( $\Delta H_2$ )는 1차 가열시 Table 1에서 보여준 무첨가구의  $\Delta H_2$ 에 비해 훨씬 증가하였음을 알 수 있고 첨가구의 경우 1차 가열시보다 2차 가열시에 옥수수 전분은 0.44 cal/g, 밀 전분은 0.25 cal/g, 쌀 전분은 0.11 cal/g 만큼씩 증가하였다. 고와 박<sup>(12)</sup>도 쌀 전분에 lysoleicithin을 첨가하였을 때 AL-complex의 peak면적이 증가하고 용융온도도 증가하였다고 보고하였으며 Kugimiya와 Donovan<sup>(3)</sup>은 1차 가열시보다 2차 가열시에  $\Delta H_2$ 가 증가하는 것은 130°C 까지 가열하였을 때 amylose에 lysoleicithin이 더 많이 결합하게 되며 이는 고온에서 아밀로오스의 dispersibility가 더 커지기 때문이라고 하였다. 본 연구에서의 결과는 이들의 결과와 좋은 일치를 보여주었다.

#### CL-complex의 형성

Fig. 2에서 보는 바와 같이 순수한 amylose와 lysoleicithin을 함께 첨가한 경우에도 AL-complex의 흡열 peak가 107.5°C에서 관찰되어 AL-complex가 형성됨을 알 수 있었고  $\beta$ -CD와 lysoleicithin을 함께 섞어 가열하였을 때에는 81°C에서 peak가 나타났으며 이는 AL-complex나

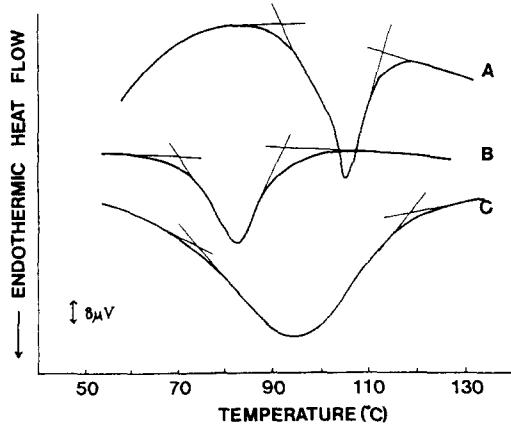


Fig. 2. DSC endotherms of amylose-lipid complex and cyclodextrin-lipid complex. A, AL-complex; B, CL-complex; C,  $\beta$ -CD.

$\beta$ -CD와는 다른 형태의 thermogram을 나타내 CL-complex가 형성됨을 확인할 수 있었다. 이는 고와 박<sup>(12)</sup>의 AL-complex 결과와 잘 일치되었다.

#### CL-complex로의 전이

옥수수 전분, lysoleicithin,  $\beta$ -CD를 함께 첨가하여 얻은 DSC thermogram은 Fig. 3과 같고 호화온도 및 엔탈피는 Table 2에 정리하였다. AL-complex의 peak는 감소되고 95°C 근처에 약간의 shoulder가 생겼으며 70°C 근처의

peak크기는 증가하였다. 그러나 첫번째 peak의 온도는  $\beta$ -CD를 첨가함에 따라 다소 증가되었고 두번째 peak의 온도는 약간 낮아졌다. 호화 엔탈피는  $\beta$ -CD 무첨가구에서 2.25 cal/g였으며  $\beta$ -CD를 1:1로 첨가했을 때에는 2.35 cal/g, 2배의  $\beta$ -CD를 첨가하였을 때 2.81 cal/g로 증가하였으나 AL-complex의 용융엔탈피는 무첨가구에서는 0.84 cal/g였으나  $\beta$ -CD 첨가구에서는 0.49 cal/g로 감소하였다. 이는 AL-complex를 형성하던 lipid가  $\beta$ -CD를 첨가하면 amylose와 결합하기 보다는  $\beta$ -CD와 결합하기 때문에 두번째 peak는 감소하고 첫번째 peak는 증가하는 것으로 생각된다. 따라서 전분내 AL-complex에 있는 amylose대신  $\beta$ -CD가 대치될 수 있으며, 이때 해리된 amylose는 amylose에 의해 쉽게 가수분해될 수 있어 전분의 당화 공정에서  $\beta$ -CD를 첨가하고 공정온도를 90°C로 낮출 경우에 당화율을 높힐 수 있을 것으로 판단된다.

$\beta$ -CD의 AL-complex에 대한 효과는 살펴본 결과는 Fig. 4와 같다.  $\beta$ -CD의 첨가량이 증가함에 따라 AL-complex의 peak는 더 작아지고 CL-complex의 peak는 더 커짐을 알 수 있다. 이는 AL-complex의 lyssolecithin이  $\beta$ -CD로 전이됨을 확인할 수 있었으며  $\beta$ -CD의 hydro-

phobic cavity 때문으로 생각된다. 또한 AL-complex의 용융온도도  $\beta$ -CD의 첨가량에 따라 약간씩 낮아짐을 알 수 있었으며 이는 전분에서의 결과와 일치하였다.

#### 유리 amylose의 가수분해

AL-complex에  $\beta$ -CD를 첨가한 후  $\alpha$ -amylase 효소를 작용시켰을 때 효소에 의한 가수분해작용을 살펴본 결과는 Fig. 5와 같다. Amylose에  $\beta$ -CD를 첨가하여  $\alpha$ -amylase를 처리한 경우  $\beta$ -CD 무첨가구에 비해 효소분해속도는 거의 변화가 없어  $\beta$ -CD는 효소에 의한 분해작용에 영향을 주지 않았다. 반면 AL-complex에  $\beta$ -CD를 첨가한 경우에는 가수분해 속도가 증가되어  $\beta$ -CD가 amylose에 대한 효소의 분해작용을 증진시킨다는 것을 알 수 있으며

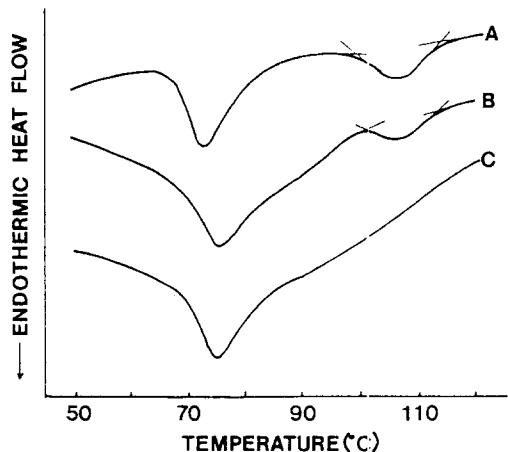


Fig. 3. DSC thermograms of corn starch with lyssolecithin in the presence of  $\beta$ -CD. Weight(mg) of starch,  $\beta$ -CD, and lyssolecithin: A, 2.5, 0, 0.3; B, 2.1, 2.0, 0.2; C, 1.6, 3.2, 0.2.

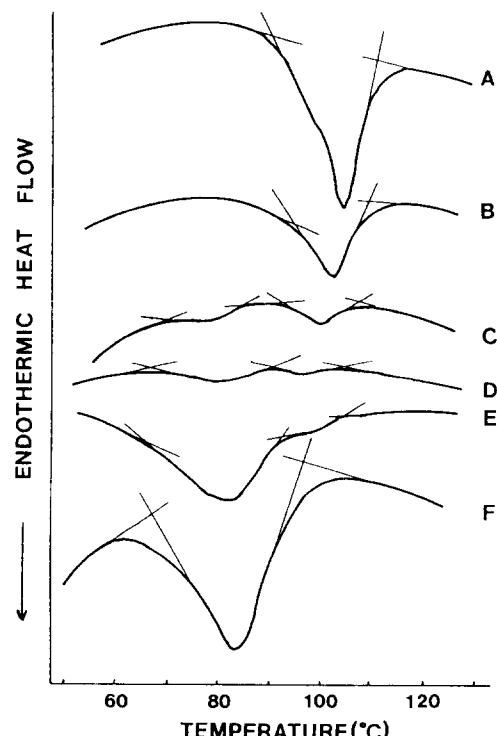


Fig. 4. Effect of  $\beta$ -CD on the endotherm of the AL-complex. For each sample, weight of AL-complex was 1.59 mg. The weight ratio of  $\beta$ -CD to AL-complex: A, 0; B, 1.0; C, 1.4; D, 1.8; E, 1.9; F, 2.2.

Table 2. DSC characteristics of corn starch in the presence of lyssolecithin and cyclodextrin

Mixture (mg)			Peak I				Peak II			
(Starch/Cyclo-/Lysol-	dextrin	lecithin	T <sub>e</sub>	T <sub>p</sub>	T <sub>c</sub>	ΔH <sub>I</sub>	T <sub>e</sub>	T <sub>p</sub>	T <sub>c</sub>	ΔH <sub>I</sub>
2.5	0	0.3	66.0	72.0	81.0	2.25	99.1	104.8	112.5	0.84
2.1	2.0	0.2	67.0	74.5	95.5	2.35	101.0	106.0	113.5	0.43
1.6	3.2	0.2	69.0	75.0	83.0	2.42	—	—	—	—

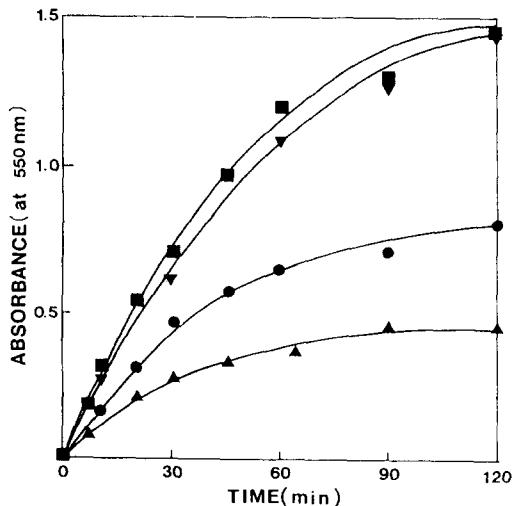


Fig. 5. Effect of  $\beta$ -CD on the hydrolysis of amylose-lipid complex by  $\alpha$ -amylase

■—■: amylose; ▼—▼: amylose +  $\beta$ -CD (1:2); ●—●: AL-complex +  $\beta$ -CD (1:2); ▲—▲: AL-complex

이는  $\beta$ -CD의 첨가에 의해 complex로부터 유리된 amylose가 amylase에 의해 가수분해되었기 때문에 판단된다. 따라서 전분에  $\beta$ -CD를 첨가하여 호화시키면 AL-complex로부터 amylose가 유리됨을 확인할 수 있었다. 이는 전분공업에서 당화수율을 높이기 위해 105°C 이상으로 가열하여 AL-complex로부터 amylose를 분리시키고 동시에 내열성 amylase를 이용하여 분해시키고 있지만, 이에 비해  $\beta$ -CD를 첨가하면 90°C 정도의 낮은 온도에서도 amylose를 가수분해시킬 수 있는 가능성을 부여주고 있으며, 이때 생성된 CL-complex는 약 100°C 이하에서 분리되므로 유리하다고 판단된다.

## 요약

여러가지 전분에서 AL-complex의 형성에 lysolecithin의 첨가가 미치는 영향과 cyclodextrin의 첨가에 의한 CL-complex 형성효과를 AL-complex 형성과의 관계로 DSC를 이용하여 비교하였다. 우수수, 밀, 쌀 전분은 모두 100°C 전후의 높은 온도에서 endothermic peak을 나타냈으며 2차 가열에서도 그대로 존재하여 AL-complex의 용융은 가역반응이고 3가지 전분에 상당량의 AL-complex가 존재함을 보여주었다. Lysolecithin의 첨가에 의해 AL-complex의 용융엔탈피는 증가하고 용융온도도 증가하는 경향을 보여 lysolecithin에 의한 AL-complex 형성효과가 뚜렷하였다. 형성된 AL-complex에  $\beta$ -CD를 첨가하면 AL-complex의 peak가 감소하는 반면 70°C 근처에서 새로운 peak가 나타났으며  $\beta$ -CD의 농도를 증가하였을 때 AL-complex의 peak가 비례하여 감소하였다. 이는 lysolecithin- $\beta$ -CD complex가 형성되어 lysoleci-

thin이  $\beta$ -CD으로 선이되었으며 동시에 amylose가 complex로부터 유리되었음을 시사하고 있다. 이를 증명하기 위하여  $\beta$ -CD의 존재하에 AL-complex를 가열한 후 amylase를 작용시킨 결과 가수분해속도가 현저히 증가하여 AL-complex로부터 amylose가 유리됨을 알 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 동일생물신소재연구센터의 지원으로 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

## 문헌

- Whistler, R.L. and Daniel, J.R.: Molecular structure of starch, p 153-182. In *Starch Chemistry and Technology*. Whistler, R.L., Bemiller, J.N. and Pascall, E.F. Academic press, Orlando.(1984)
- Hoover, R. and Hadziviey, D.: The effect of monoglycerides on amylose complexing during a potato granule process. *Stärke*, 33, 346(1981)
- Kugimiya, M. and Donovan, J.W.: Calorimetric determination of the amylose content of starches based on formation and melting of the amylose-lysolecithin complex. *J. Food Sci.*, 46, 765(1981)
- Raphaelides, S. and Karkalis, J.: Thermal dissociation of amylose-fatty acid complexes. *Carbohydr. Res.*, 172, 65(1988)
- Kuge, T. and Takeo, K.: Complexes of starch materials with organic compounds. Part II. Complex formation in aqueous solution and fractionation of starch by 1-menthone. *Agric. Biol. Chem.*, 32, 1232(1968)
- Eliassonm, A.-C.: Starch gelatinization in the presence of emulsifier. A morphological study of wheat starch. *Stärke*, 37, 411(1985)
- Krog, N.: Amylose complexing effect of food grade emulsifiers. *Stärke*, 23, 206(1971)
- Hoover, R. and Hadziviey, D.: Characterization of potato starch and its monoglyceride complexes. *Stärke*, 33, 290(1981)
- Mikus, F.F., Hixon, R.M. and Rundle, R.E.: The complexes of fatty acids with amylose. *J. Am. Chem. Soc.*, 68, 1115(1946)
- Evan, I.D.: An investigation of starch/surfactant interactions using viscometry and Differential Scanning Calorimetry. *Stärke*, 38, 227(1986)
- Rutschmann, M.A. and Solms, J.: Formation of inclusion complexes of starch with different organic compounds II. Study of ligand binding in binary model systems with decanal, 1-naphthol, monostearate and monopalmitate. *Food Sci. & Technol.*, 23, 70(1990)
- 고재형, 박자화: 원전분의 amylose-lipid complex의 DSC 특성과 amylose 함량. *한국식품과학회지*, 21, 556 (1989)
- Kugimiya, M., Donovan, J.W. and Wong, R.Y.: Phase transitions of amylose-lipid complexes in starches. *Stärke*, 32, 265(1980)
- Raphaelides, S. and Karkalis, J.: Thermal dissociation of amylose-fatty acid complexes. *Carbohydr. Res.*, 172,

- 65(1988)
- 15. Kim, H.O. and Hill, R.D.: Physical characteristics of wheat starch granule gelatinization in the presence of cycloheptaamyllose. *Cereal Chem.*, **61**, 432(1984)
  - 16. Kim, H.O. and Hill, R.D.: Modification of wheat flour dough characteristics by cycloheptaamyllose. *Cereal Chem.*, **61**, 406(1984)
  - 17. Weselake, R.J. and Hill, R.D.: Inhibition of alpha-amylase-catalyzed starch granule hydrolysis by cycloheptaamyllose. *Cereal Chem.*, **60**, 98(1983)
  - 18. Kim, H.O. and Hill, R.D.: Effect of cyclomaltoheptaose on amylose-lipid complexes during wheat starch pasting. *Carbohydr. Res.*, **170**, 215(1987)
  - 19. Holm, J., Bjorck, I., Ostrowska, S., Eliasson, A.L., Asp, N.G., Lasson, K. and Lundquist, I.: Digestibility of amylose-lipid complexes in-vitro and in-vivo. *Stärke*, **35**, 294(1983)
  - 20. Miller, G.L.: Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem.*, **31**, 426 (1959)

---

(1993년 9월 20일 접수)