

## 담자균류의 효소에 관한 연구(I)

—표고버섯 중의 광감응성 Mitochondrial  $F_0F_1$ -ATPase의 철이온 효과—

민태진\* · 이미애 · 배강규  
동국대학교 이과대학 화학과

## Study on the Enzyme of Basidiomycetes(I) —The Effects of Iron Ions on the Light-Induced Mitochondrial $F_0F_1$ -ATPase of *Lentinus edodes*—

Tae-Jin Min, Mi-Ae Lee and Kang-Gyu Bae

Department of Chemistry, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea

**ABSTRACT:** The effects of the iron ions for the light-induced mitochondrial  $F_0F_1$ -ATPase of *Lentinus edodes* was studied. The enzyme activity was stimulated up to 202% by 0.1 mM  $Fe^{2+}$  ion, but was inhibited by  $Fe^{3+}$  and  $Mg^{2+}$ . In the presence of 0.5 mM  $Mg^{2+}$ , the activity also increased 32% by 0.1 mM  $Fe^{2+}$  ion, and decreased to a similar extent by  $Fe^{3+}$  ion than by only  $Fe^{3+}$  ion. Also, the activity was inhibited 53% by 5.0 mM  $Fe^{2+}$  ion in the presence of 0.5 mM  $Mg^{2+}$  ion and various concentration of  $Fe^{3+}$  ion(mM). These results showed that  $Fe^{2+}$  strongly stimulated the enzyme activity and its role for the enzyme was independent of  $Mg^{2+}$  ion, but was dependent of  $Fe^{3+}$  ion. From inactivation of the enzyme by addition of metal chelating agent, EDTA, it is suggested that the enzyme is to be metalloenzyme. The optimal pH and temperature of the enzyme in the presence of 0.1 mM  $Fe^{2+}$  was 7.6 and 63°C, respectively.

**KEYWORDS:** *Lentinus edodes*, Light-Induced Mitochondrial  $F_0F_1$ -ATPase, Iron Ion Effects.

### 序 論

ATPase(EC 3. 6. 1. 3)는 ATP를 합성하는  $F_0F_1$ -ATPase(ATP synthase)의 활성화와 ATP를 분해하는  $F_1$ -ATPase(ATPase)의 활성을 갖는 효소로서, bacteria나 엽록체의 thylacoid, 그리고 고등세포의 plasma membrane 및 mitochondria의 내막에 존재한다. 일반적으로 이 효소는  $F_1$ 과  $F_0$ 의 두부분으로 구성되어 있으며, 이들은 oligomycin sensitive conferring protein(OSCP)에 의하여 연결되어 있다(Racker, 1976).  $F_1$  부분은 수용성 촉매부위로서 ATP를 ADP와 인산이온(Pi)으로 가수분해시키며(Greaser *et al.*, 1982), 소수성 인지질 단백질인  $F_0$  부분은  $F_1$  부분과 함께 mitochondria의 내막을 통한  $H^+$ 의 유

입을 매개하면서(Wang, 1983), 이 때 방출되는 자유 energy를 이용하여 ADP와 Pi로부터 ATP의 합성을 촉매하는 ATP synthase의 역할을 한다(Cross, 1981).  $F_0F_1$ -ATPase complex의 subunits 조성, 구조 및 기능 등은 그 동안 여러종류의 생명체로부터 연구되어 왔다(Amzel and Pederson, 1983; Walker *et al.*, 1984).

본 연구실에서는 고등 담자균에 속하는 표고버섯으로부터 ATPase를 순수히 분리정제하여 효소적 특성을 연구보고하였다(Min and Park, 1991<sup>a</sup>; 1991<sup>b</sup>; 1992). 또한, Min 등은 음식생물인 표고버섯 중의 mitochondrial ATP synthase(Min *et al.*, 1989<sup>a</sup>; 1989<sup>b</sup>) 및 ATPase(Min *et al.*, 1987<sup>a</sup>; 1987<sup>b</sup>)가 각각 470 nm의 청색광 및 680 nm의 적색광을 15초 및 5분 동안 조사할 때 그 활성이 증가함을 보고하였으며, 특히 ATP synthase의 활성화 파장인 470

\*Corresponding author

nm를 흡광하는 광수용체는 mitochondria 내에 존재하는 flavin계 화합물임을 구명하였다(Park and Min, 1991). 또한 버섯의 종류에 따른 빛 조사 효과를 관찰하기 위하여 느타리 버섯의 mitochondrial ATP synthase(Lee and Min, 1989<sup>a</sup>; Min and Lee, 1991) 및 ATPase(Lee and Min, 1989<sup>b</sup>)에 대한 파장별 광조사 실험을 한 결과, 480 nm 및 580 nm의 빛을 15초 및 10초 동안 조사할 때 두 효소의 활성이 각각 증가됨으로써 표고버섯의 mitochondrial ATP synthase 및 ATPase의 활성화 파장과 서로 다른 빛에 의해 활성화됨을 알 수 있었다.

지금까지 보고된 바에 의하면, 대부분의 ATPase는  $Mg^{2+}$  이나  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  등의 금속이온에 의하여 활성화되는 것으로 알려져 있다(Nakamura, 1988; Caubergs *et al.*, 1986). 그러나, 본 연구실에서는 표고버섯 중의 광감응성 mitochondrial ATP synthase 및 ATPase가 각각  $Fe^{2+}$  및  $Fe^{3+}$  이온에 의하여 그 활성이 가장 크게 활성화됨을 처음으로 보고하였다(Min *et al.*, 1989<sup>b</sup>; 1987<sup>b</sup>).

따라서, 본 연구에서는 표고버섯 중의 광감응성 mitochondrial ATP synthase가 다른 종의 ATP synthase와 달리 철 이온에 의하여 특이적으로 활성화되는 효소인지를 구명하기 위하여 이 효소의 최적 파장인 470 nm의 빛을 15초 동안 조사한 후  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  및  $Mg^{2+}$  이온의 각 농도효과를 관찰하였으며, 효소의 활성도에 미치는  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  및  $Mg^{2+}$  이온들의 연관성을 알기 위하여  $Mg^{2+}$  이온 존재하에서의  $Fe^{2+}$  및  $Fe^{3+}$  각 이온효과 그리고  $Fe^{3+}$  및  $Mg^{2+}$  이온의 공존하에서  $Fe^{2+}$  이온농도 효과 등을 측정하였다.

## 材料 및 方法

### 재료

본 실험에 사용한 시료는 경기도 여주에서 재배한 표고버섯(*Lentinus edodes*)을 사용하였다. Tris(hydroxymethyl)aminomethane(Tris), Adenosine-5'-diphosphate(ADP), potassium dihydrogen phosphate( $KH_2PO_4$ ), bovine albumin(BA), sodium succinate, cytochrome c, 2, 6-dichlorophenolindophenol(DCP-IP), phenazine methosulfate(PMS), ferrous chloride( $FeCl_2$ ), ferric chloride( $FeCl_3$ ), magnesium ch-

loride( $MgCl_2$ ), triton X-100 및 ethylenediaminetetraacetic acid(EDTA)는 Sigma 제품을, Ammonium molybdate(AM), 1-amino-2-naphthol-4-sulfonic acid(ANSA) 및 sodium dithionite는 Merck 제품을 사용하였으며, 그외의 모든 시약은 Wako 제품의 특급시약을 사용하였다.

### Mitochondria의 분리정제

표고버섯으로부터의 mitochondria의 분리정제는 Douce 등(1972)의 방법을 인용 변형하여 본 연구실의 방법(Min, 1987<sup>a</sup>)으로 단계별 실험밀도 기울기 원심분리법에 의하여 실행하였다.

### Mitochondria의 확인

정제된 mitochondria는 Singer(1973) 및 Rubin 등(1978)의 방법을 인용하여 mitochondria의 marker enzyme인 succinate dehydrogenase(EC 1.3.99.1)와 cytochrome oxidase(EC 1.9.3.1)의 활성도를 측정하여 확인하였다.

### Mitochondria의 광조사

분리정제한 mitochondria를 암실에서 10분 동안 정치시킨 후, 300 W tungsten-halogen lamp의 광원을 부착한 monochromator를 이용하여 470 nm의 빛을 15초 동안 조사하였다. 이 때 thermofilm을 사용하여 측정된 광량은  $2.0 \times 10^{14}$  photons/cm<sup>2</sup>이었다.

### Mitochondrial ATP synthase의 활성도 측정

Mitochondrial ATP synthase의 활성도는 Rorive 등(1972)의 방법을 변형한 Min 등(1989<sup>a</sup>)의 방법에 따라 측정하였다. 10 mM Tris-HCl 완충용액(pH 7.5) 0.5 ml에 470 nm의 빛을 조사한 효소용액 0.1 ml를 가하여 37°C에서 3분 동안 열평형시킨 후 기질 용액인 15 mM ADP 수용액 0.2 ml와 15 mM  $KH_2PO_4$  수용액 0.2 ml를 가하여 37°C에서 10분 동안 반응시킨 후 10% TCA 수용액 2 ml를 가하여 반응을 정지시켰다. 이를 syringe 여과(pore size 0.45  $\mu$ m, Millipore Co.)하여 침전물을 제거한 여액에 10 mM Tris-HCl 완충용액(pH 7.5) 5 ml, 2.5% AM 수용액 2 ml 및 0.25% ANSA 수용액 0.4 ml를 가하여 30분 동안 발색시킨 후 660 nm에서 흡광도를 측정하였다.

효소의 단위는 37°C에서 매 분당 효소 단백질 1 mg이 기질인  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 로부터 감소시키는 인산이온 (Pi) 1  $\mu\text{mol}$ 을 1단위로 하였다. 단백질 정량은 Lowry 등(1951)의 방법을 이용하여 측정하였으며, BA를 이용한 표준검량선에 의하여 산출하였다.

**효소의 활성도에 미치는 철이온 및 EDTA의 영향**

광 조사한 효소 용액에  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  및  $\text{Mg}^{2+}$  이온을 각각 농도별로 가한 후 상대적 활성도를 측정하였다. 또한,  $\text{Mg}^{2+}$  이온의 존재하에서  $\text{Fe}^{2+}$  및  $\text{Fe}^{3+}$  각 이온에 의한 활성도 변화와  $\text{Fe}^{3+}$  및  $\text{Mg}^{2+}$  이온의 공존하에서  $\text{Fe}^{2+}$  이온에 의한 효소의 활성도 변화를 측정하여 비교하였다. 그리고 EDTA효과는 효소 용액에 농도별로 가한 후 상대적 활성도 변화를 측정하였다.

**철이온 존재하에서 효소의 최적 pH 및 온도**

광 조사한 효소 용액에 효소의 활성도를 가장 크게 활성화시키는  $\text{Fe}^{2+}$  이온을 가하고 10 mM Tris-HCl 완충용액을 pH 7.0에서 8.0까지 변화시켜 가한 후 그 활성도 변화를 측정하여  $\text{Fe}^{2+}$  이온 존재하에서 최적 pH를 결정하였고, 또한 최적온도는 광 조사한 효소 용액에  $\text{Fe}^{2+}$  이온을 가한 후 최적 pH에서 반응 온도를 30°C에서 70°C 까지 변화시켜 활성도를 측정하였다.

**結果 및 考察**

**Mitochondria의 분리정제 및 확인**

단계별 설탕밀도 기울기 원심분리법에 의하여 mitochondria를 분리정제한 후 280 nm에서 단백질의 흡광도를 측정한 결과는 Fig.1과 같다. Fig.1에서 보는 바와 같이, 4개의 단백질 분획을 얻었으며, 이 중 44% sucrose 용액 중에서 정제된 mitochondria (분획 C)를 얻었다. 이 때, 분리정제한 mitochondria는 marker enzyme인 succinate dehydrogenase 와 cytochrome oxidase의 활성도 측정에 의하여 확인하였다(Park and Min, 1991).

**광감응성 mitochondrial ATP synthase의 철이온 효과**

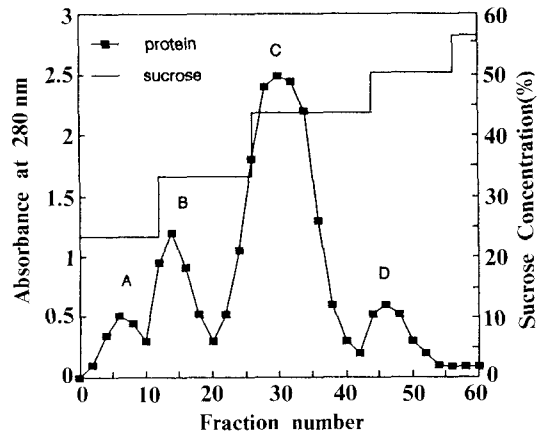


Fig. 1. Protein distribution observed after discontinuous sucrose gradient centrifugation of crude mitochondria of *Lentinus edodes*. The fraction C in 44% sucrose solution was mitochondria.

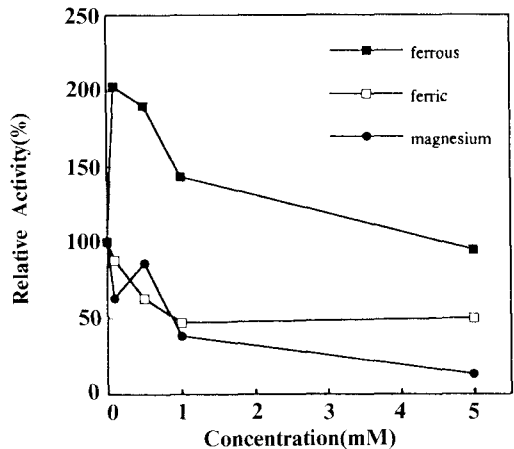


Fig. 2. The effects of various concentrations of ferrous, ferric and magnesium ions for the activity of the light-induced mitochondrial ATP synthase. ■-;  $\text{Fe}^{2+}$ , □-;  $\text{Fe}^{3+}$ , ●-;  $\text{Mg}^{2+}$ .

효소의 활성화 파장인 470 nm의 빛을 최적 시간 (15초) 동안 조사한 mitochondrial ATP synthase의 활성도에 미치는  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  및  $\text{Mg}^{2+}$  각 이온의 영향은 Fig.2에 나타내었다. 이 효소는  $\text{Fe}^{2+}$  이온에 의하여 그 활성이 크게 증가되며, 특히 0.1 mM  $\text{Fe}^{2+}$  이온에 의해 대조구에 비하여 102%의 활성도 증가 현상을 보였다. 한편,  $\text{Fe}^{3+}$  및  $\text{Mg}^{2+}$  이온은 각각 농도증가에 따라 효소의 활성을 억제시켰다. 이로써, 다른 생명체 중의 ATP synthase가  $\text{Mg}^{2+}$  이온에

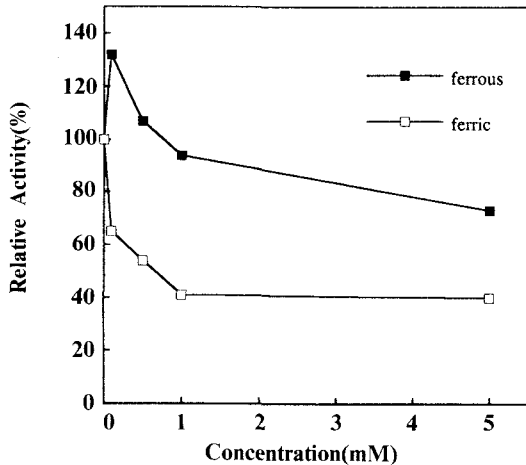


Fig. 3. The effects of various concentrations of ferrous and ferric ions for the activity of the light-induced mitochondrial ATP synthase in the presence of 0.5 mM magnesium ion. -■-; Fe<sup>2+</sup>, -□-; Fe<sup>3+</sup>.

의하여 활성화됨과는 달리, 표고버섯 중의 광감응성 mitochondrial ATP synthase는 Fe<sup>2+</sup> 이온에 의하여 크게 활성화됨을 알 수 있었다. Mg<sup>2+</sup> 이온이 Fe<sup>2+</sup> 또는 Fe<sup>3+</sup> 이온과 각각 공존할 때 효소의 활성화에 미치는 두 이온의 효과를 관찰하기 위하여 0.5 mM Mg<sup>2+</sup> 이온의 존재하에서 Fe<sup>2+</sup> 또는 Fe<sup>3+</sup> 각 이온의 농도 변화에 따른 효소의 활성화도 변화를 관찰한 결과는 Fig. 3과 같다. 0.5 mM Mg<sup>2+</sup> 이온의 존재하에서 0.1 mM Fe<sup>2+</sup> 이온은 효소의 활성을 32% 증가시켰다. 또한 0.5 mM Mg<sup>2+</sup> 이온의 존재하에서 Fe<sup>3+</sup> 이온효과는 Fe<sup>3+</sup> 단독 이온의 효과와 유사한 경향으로 효소의 활성을 저해하였다. 따라서, 표고버섯 중의 광 감응성 mitochondrial ATP synthase에 대한 Fe<sup>2+</sup> 또는 Fe<sup>3+</sup> 이온의 영향이 Mg<sup>2+</sup> 이온에 의하여 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있었다. 또한, 효소의 활성화에 대한 Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> 및 Mg<sup>2+</sup> 이온의 연관성을 조사하기 위하여 각 농도의 Fe<sup>3+</sup>과 0.5 mM Mg<sup>2+</sup> 이온의 공존하에서 효소의 활성화에 미치는 Fe<sup>2+</sup> 이온의 영향을 Fig. 4에 나타내었다. 0.5 mM Mg<sup>2+</sup>과 0.1 mM, 0.5 mM 및 1.0 mM Fe<sup>3+</sup> 이온의 공존하에서 Fe<sup>2+</sup> 이온은 효소의 활성을 모두 억제하였으며, 특히 0.5 mM Mg<sup>2+</sup>, 0.1 mM Fe<sup>3+</sup> 이온의 공존하에서 5.0 mM Fe<sup>2+</sup> 이온에 의하여 53%의 억제현상을 나타내었다. 따라서, 표고버섯 중의 광감응성 mitochondrial ATP synthase는 Fe<sup>2+</sup> 이온에

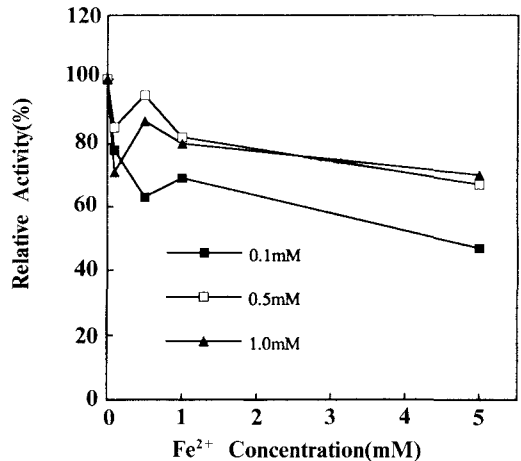


Fig. 4. The effects of various concentrations of ferrous ion for the activity of the light-induced mitochondrial ATP synthase in the presence of 0.5 mM magnesium ion and 0.1 mM, 0.5 mM and 1.0 mM ferric ion. -■-; 0.1 mM Fe<sup>3+</sup>, -□-; 0.5 mM Fe<sup>3+</sup>, -▲-; 1.0 mM Fe<sup>3+</sup>.

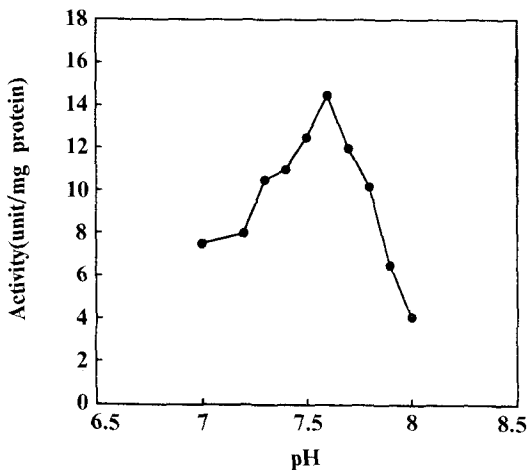
의하여 그 활성이 특이적으로 크게 증가되며, 효소의 활성을 억제시키는 Fe<sup>3+</sup> 및 Mg<sup>2+</sup> 이온이 공존할 때는 Fe<sup>2+</sup> 이온이 효소의 활성을 증가시키지 못함을 관찰할 수 있었다. 이들의 결과로부터, 표고버섯 중 mitochondria 내의 전자전달계에서 산화환원 반응에 관여하는 환원형의 Fe<sup>2+</sup> 이온이 다른 전자전달체로 전자를 전달하면서 이 때의 자유 energy에 의하여 ATP를 합성하는 ATP synthase를 활성화시켜 주는 것으로 추정된다.

**광감응성 mitochondrial ATP synthase의 활성화에 대한 EDTA 효과**

광 조사한 mitochondrial ATP synthase에 metal ion의 chelating agent인 EDTA를 농도별로 가한 후 활성화도 변화를 측정된 결과는 Table 1에 나타내었다. EDTA의 농도 증가에 따라 효소의 활성이 감소하였으며, 특히 20 mM EDTA에 의하여 약 42%의 활성이 억제됨을 알 수 있었다. 이 결과로부터, EDTA가 mitochondria 내의 금속이온을 제거함에 의하여 활성이 상실되는 것으로 사료된다. 따라서 이상과 같은 실험결과를 토대로 표고버섯 중의 mitochondrial ATP synthase는 다른 생명체의 이 효소와는 달리 Fe<sup>2+</sup> 이온에 의하여 활성을 갖는 meta-

**Table 1.** The effect of EDTA for the activity of the light-induced mitochondrial ATP synthase of *Lentinus edodes*.

Concentration(mM)	Relative activity(%)
None	100
1	83
5	74
10	60
20	58

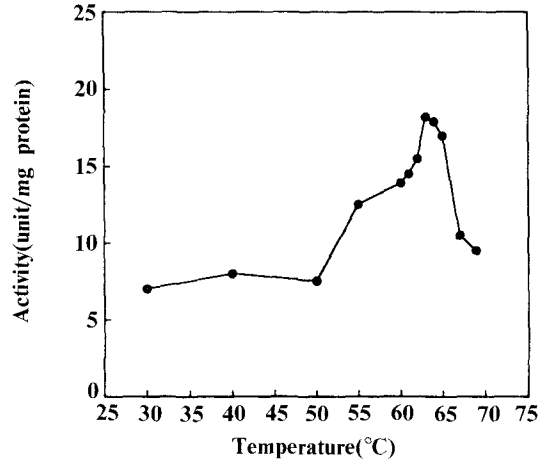


**Fig. 5.** The pH dependent activity of the light-induced mitochondrial ATP synthase in the presence of 0.1 mM ferrous ion.

lloenzyme임을 예측할 수 있었다. 이러한 예측을 뒷받침하기 위해서, 본 연구실에서는 현재 이에 대한 실험을 계속 진행 중에 있다.

**Fe<sup>2+</sup> 이온 존재하에서의 효소의 최적 pH 및 최적 온도**

최적광을 조사한 mitochondrial ATP synthase의 활성을 가장 크게 증가시키는 0.1 mM Fe<sup>2+</sup> 이온을 가한 후 pH 변화에 따라 활성도를 측정된 결과는 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서와 같이 활성화 금속이온의 존재하에서 이 효소의 최적 pH는 7.6이며, 이는 활성화 금속이온이 없을 때 이 효소의 최적 pH 7.5 (Min *et al.*, 1989<sup>a</sup>)와 유사하였다. 이 결과는 이 효소의 활성화 금속이온이 최적 pH에 영향을 주지 않음을 보였으며, 따라서 Fe<sup>2+</sup> 이온이 효소의 활성



**Fig. 6.** The temperature dependent activity of the light-induced mitochondrial ATP synthase in the presence of 0.1 mM ferrous ion.

부위의 형태변화에 영향을 주지 않음을 나타내었다. 또한, 0.1 mM Fe<sup>2+</sup> 이온을 가한 후 최적 pH 7.6에서 온도 변화에 따라 활성도를 측정된 결과는 Fig. 6에 나타내었다. 이 효소의 최적 온도는 63°C이었으며, 이 결과는 활성화 금속이온이 존재하지 않을 때의 최적온도 54°C (Min *et al.*, 1989<sup>a</sup>)와는 약간 상이함을 알 수 있었다. 이 결과들로부터, 활성화 금속이온이 이 효소의 활성 부위가 아닌 다른 부위에서의 형태변화를 유발하여 촉매반응의 속도를 증가시키는 것으로 사료된다.

**摘 要**

표고버섯 중의 광감응성 mitochondrial ATP synthase는 0.1 mM Fe<sup>2+</sup> 단독 이온에 의하여 그 활성이 대조구에 비해 102% 증가되었으며, 반면 Fe<sup>3+</sup> 및 Mg<sup>2+</sup> 이온은 효소의 활성을 억제시켰다. 0.5 mM Mg<sup>2+</sup> 존재하에서 0.1 mM Fe<sup>2+</sup> 이온에 의한 이 효소의 활성은 32% 증가되었으며 0.5 mM Mg<sup>2+</sup> 존재하에서 Fe<sup>3+</sup> 이온효과는 단독 Fe<sup>3+</sup> 이온의 효과와 유사한 경향으로 효소의 활성을 저해하였다. 0.5 mM Mg<sup>2+</sup>과 0.1 mM, 0.5 mM 및 1.0 mM Fe<sup>3+</sup> 이온의 공존하에서 Fe<sup>2+</sup> 이온에 의한 효소의 활성은 모두 억제되었으며, 특히 0.5 mM Mg<sup>2+</sup>과 0.1 mM Fe<sup>3+</sup> 이온의 공존하에서 5.0 mM Fe<sup>2+</sup> 이온에 의하여 53%의 억제현상을 나타내었다. 따라서 표고

버섯 중의 광감응성 mitochondrial ATP synthase의 활성은  $Fe^{2+}$  이온에 의하여 특이적으로 크게 증가되며, 이 효소에 대한  $Fe^{2+}$  이온의 활성화 효과는  $Mg^{2+}$  이온에 의하여 크게 영향을 받지 않으나,  $Fe^{3+}$  이온의 공존하에서는 억제됨을 알았다. 활성화 금속이온인  $Fe^{2+}$  존재하에서 이 효소의 최적 pH는 7.6이며, 최적 온도는  $63^{\circ}C$  이었다. 또한 이 효소는 금속 chelating agent인 EDTA에 의하여 효소의 활성이 상실됨으로써 metalloenzyme의 가능성을 제시하였다.

### 감사의 말씀

본 연구는 1991년도 교육부 대학부설연구소 지원 연구비로 수행되었다.

### 参考文献

- Amzel, L. M. and Pederson, P. L. (1983): Proton ATPase: Structure and Function. *Ann. Rev. Biochem.* **52**: 801-824.
- Caubergs, R. J., Asard, H. H., De Greef, J. A., Leeuwewerik F. J. and Oltmann, F.L. (1986): Light-Inducible Absorbance Changes and Vanadate-Sensitive ATPase Activity Associated with the Presumptive Plasma membrane Fraction from Cauliflower Inflorescences. *Photochem. Photobiol.* **44**: 641-649.
- Cross, R. L. (1981): The Mechanism and Regulation of ATP synthesis by  $F_1$ -ATPase. *Annu. Rev. Biochem.* **50**: 681-714.
- Douce, R., Christensen, E.L. and Bonnen, Jr. W.D. (1972): Preparation of Intact Mitochondria. *Biochim. Biophys. Acta* **275**: 148-160.
- Gresser, M. J., Myer, J. A. and Boyer, P. D. (1982): Catalytic Site Cooperativity of Beef Heart Mitochondria. *J. Biol. Chem.* **257**: 12030-12038.
- Hiatt, A. T. (1961): Preparation & Some Properties of Soluble Succinic Dehydrogenase From Higher Plants. *Plant. Physiol.* **36**: 522-557.
- Lee, K. D. and Min, T. J. (1989<sup>a</sup>): Studies on the Light-Induced Mitochondrial ATPase in *Pleurotus ostreatus*. *Kor. J. Mycol.* **17**: 169-176.
- Lee, K. D. and Min, T. J. (1989<sup>b</sup>): Studies on the Light-Induced Mitochondrial ATP synthase in *Pleurotus ostreatus*. *Kor. J. Mycol.* **17**: 177-183.
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L. and Randall, R. J. (1951): Protein measurement with the Folin phenol Reagent. *J. Biol. Chem.* **193**: 265-275.
- Min, T. J., Cho, S. W. and Park, S. S. (1987<sup>a</sup>): Light-Induced Mitochondrial ATPase in *Lentinus edodes*. *Kor. J. Mycol.* **15**: 217-223.
- Min, T. J., Cho, S. W., Kim, Y. S., Kim, J. W. and Mheen, T. I. (1987<sup>b</sup>): Effects of Organic Compounds and Metal ion influx of Light-Induced Mitochondrial ATPase in *Lentinus edodes*. *Kor. J. Mycol.* **15**: 224-230.
- Min, T. J., Lee, W. G. and Park, S. S. (1989<sup>a</sup>): Light-Induced Mitochondrial ATP synthase in *Lentinus edodes*. *Kor. J. Mycol.* **17**: 91-98.
- Min, T. J., Lee, W. G. and Kim, J. W. and Mheen, T. I. (1989<sup>b</sup>): Effects of Organic Compound and metal ion Influx of Light-Induced Mitochondrial ATP synthase in *Lentinus edodes*. *Kor. J. Mycol.* **17**: 99-104.
- Min, T. J. and Lee, K. D. (1991): Study on the Characterization of Light-Induced Mitochondrial ATP synthase in *Pleurotus ostreatus*. *Kor. J. Mycol.* **19**: 32-40.
- Min, T. J. and Park, H. L. (1991<sup>a</sup>): Studies on the ATPase in the mushroom(I). *Kor. J. Mycol.* **19**: 214-219.
- Min, T. J. and Park, H. L. (1991<sup>b</sup>): Studies on the ATPase in the mushroom(II). *Kor. J. Mycol.* **19**: 220-225.
- Min, T. J., Park, H. L. and Bae, K. G. (1992): Studies on the Adenosine-5'-triphosphatase(ATPase) in the mushroom(III)-Effects of organic compounds of purified ATPase in *Lentinus edodes*. *Kor. Biochem. J.* **25**: 317-324.
- Miura, R., Miyake, Y., Tojo, H. and Yamano, T. (1988): In Metalloproteins (Harris E.L.V. and Angal, S., Ed.) pp. 443-455.
- Nakamura, H. (1988): Mg-ATPase. In Metalloproteins. (Otsuka, S. and Yamanaka, T., Ed.) pp. 17-27.
- Park, S. S. and Min, T. J. (1991): Studies on the Photoreceptor of the Light-Induced Mitochondrial ATPase in *Lentinus edodes*. *Korean. Biochem. J.* **24**: 26-34.
- Racker, E. (1976): The possible organization of the polypeptides of  $F_0F_1$ -ATPase. *Trends. Biochem. Sci.* **1**: 244-255.
- Rorive, G. and Kleinzeller, A. (1972): The effect of ATP and  $Ca^{2+}$  on the Cell Volume in Isolated Kidney Tubules. *Biochim. Biophys. Acta* **274**: 226-239.
- Rubin, M. and Tzagoloff, A. (1978): Cytochrome Ox-

- dase of *Saccharomyces cerevisiae*. *Methods Enzymol.* **53**: 73-79.
- Singer, T. P. (1973): Determination of the Activity of Succinate, NADH, Choline and  $\alpha$ -Glycerophosphate Dehydrogenases. *Methods Biochem. Analysis* **22**: 123-175.
- Walker, J. E., Saraste, M. and Gay, N. J. (1984): Nucleotide Sequence, Regulation and Structure of ATP synthase. *Biochim. Biophys. Acta* **768**: 164-200.
- Wang, J. H. (1983): Coupling of Proton flux to the Hydrolysis and Synthesis of ATP. *Annu. Rev. Biophys. Bioeng.* **12**: 21-34.