

무흡광 색소 생물의 감광수용체 개발 연구(III)
- 표고버섯 중의 광감응성 Mitochondrial ATP Synthase -

민태진[§]·이완기·박상신

동국대학교 이과대학 화학과

Studies on the Development of Photoreceptor in the
Nonchromatophore Organisms (III)

- Light- Induced Mitochondrial ATP Synthase in the
Lentinus edodes (Berk.) Sing. -

Tae-Jin Min[§], Wan-Gie Lee and Sang-Shin Park

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

ABSTRACT: Mitochondria in the *L. edodes* was separated and purified by stepped sucrose density gradient centrifugation. The activity of mitochondrial ATP synthase has been investigated during various illumination times at each wavelength within the range of 400 nm to 700 nm. The stimulation of above activity increased by two times compared with nonilluminated control group when the illumination was given for 15 seconds at 470 nm wavelength. The optimal pH and temperature of this light-induced mitochondrial ATP synthase were 7.5 and 54°C, respectively. The activity of this enzyme increased by 26%, 25% and 14%, respectively, when there were 1 mmole Fe³⁺, 0.5 mmole Fe²⁺, and 5 mmole SO₄²⁻ ion, and was inhibited by 5 mmole Co²⁺, 5 mmole Mn²⁺, 1 mmole Ca²⁺, 0.1 mmole Na⁺, 5 mmole CN⁻, and 0.1 mmole CO₃²⁻ ion. But Na⁺ and K⁺ ion did not affect the activity of enzyme.

KEYWORDS: Light-Induced Mitochondrial ATP synthase, *Lentinus edodes* (Berk.) Sing.

ATP synthase 즉, F₁·F₀-ATPase(Racker 등, 1976)는 5개의 subunit로 구성(Catterall 등, 1971)된 가용성 F₁-ATPase가 Oligomycin Sensitivity Conferring Protein(OSCP)에 의하여 소수성 인지질인 F₀-group에 결합되어 ADP와 Pi를 ATP로 전환하는 기능(Okamoto 등, 1977)을 가지며, 미토콘드리아의 내막(Kielly, 1953), 엽록체의 thylakoid 및 plasma membrane(Leonard 등, 1976)에 존재하고, 전자전달계에 관여하는 효소이다.

ATP synthase에 관한 연구로는 소의 심장(Hatefi 등, 1958)과 쥐의 간(Devlin 등, 1958) 중의 mitochondrial ATP synthase 및 시금치의 엽록체(Allen 등, 1958; Arnon 등, 1956; Vishniac 등, 1952) 중의 ATP synthase 등이 이미 연구 보고되어 있다.

또한 원생 단세포 동물인 나팔벌레로부터 pigment granule을 분리하여 *in vitro*에서 610nm 빛을 조사함으로써, ATP가 생성, 축진(Min 등, 1984)되며, *R. rubrum* 박테리아에서 추출한

§본 논문에 관한 문의는 이 저자에게로.

이 논문은 1987년도 문교부 대학 부설연구소 지원 학술연구 조성비와 과학재단 연구비에 의하여 연구되었음.

chromatophore가 빛 존재하에서 ATP를 생성 (Yamashita 등, 1967; Frenkel, 1954; Smith 등, 1959)함을 보고하였다.

버섯은 고등균류에 속하는 음식생물로서 녹색식물의 엽록체나 몇몇 광합성 박테리아에만 존재하는 박테리아성 엽록소와 같은 흡광색소가 없으며, 버섯중의 ATP synthase에 관한 연구는 보고된 바 없다.

본 연구실에서는 버섯이 빛을 필요로 하는지, 필요로 한다면 몇 파장의 빛에 의하여 체내 대사가 영위되고, 또한 ATP의 생성이 촉진되는 지를 알기 위한 기초연구로서, 표고버섯 중 순수 ATPase의 효소적 특성을 연구보고 (Min 등, 1986)하였으며, 또한 표고버섯에서 분리 정제한 미토콘드리아내의 미토콘드리아성 ATPase가 680 nm의 빛 조사에 의하여 가장 활성화 되었으며, K⁺ 이온의 유입 효과에서는 690 nm 빛에 의하여 그 활성도가 가장 증가됨을 보고 (Min 등, 1987a, 1987b)하였다.

본 연구에서는 표고버섯 중의 미토콘드리아를 분리 정제하여 파장별 빛을 각각 조사한 후 파장 변화에 따른 미토콘드리아성 ATP synthase의 활성도 변화를 측정하여 버섯의 체내 대사에서 ATP의 합성을 촉진하는 파장을 규명하고, 이 최적 파장에서 빛의 조사, 시간변화에 따른 활성도 변화를 측정하여, 최적 빛의 조사시간을 측정하였다. 또한, 최적 파장 및 최적 조사시간 하에서 미토콘드리아성 ATP synthase의 최적 pH, 최적 온도 및 금속이온의 효과를 측정함으로써 이 효소와 파장과의 관계를 연구하였다.

材料 및 方法

재 료

시료는 경기도 광릉에서 채취한 야생 표고버섯, *Lentinus edodes* (Berk.) Sing.을 사용하였고, 본 실험에 사용한 adenosine-5'-diphosphate (ADP), bovine albumin (BA) 등은 Sigma Co. 제품을 phosphoric acid (Pi), tris(hydroxymethyl) aminoethane (Tris), 1-amino-2-naphthol-4-sulfonic acid (ANSA), trichloroacetic

and (TCA), perchloric acid 및 sucrose 등은 Wako Co. 특급제품을 ammonium molybdate (AM)는 Fisher scientific Co. 제품을 그리고 coomassie brilliant blue G-250 (CBB G-250) 등은 Merck Co. 제품을, 그 외의 시약은 분석용 특급시약을 사용하였다.

미토콘드리아의 분리 정제

Blair (1967) 및 Cooper 등 (1969)의 방법을 인용하여 앞서 발표한 (Min 등, 1987a, 1987b) 방법으로 정제하여 확인한 후 사용하였다.

파장별 빛 조사

분리 정제된 미토콘드리아를 시험관에 각각 취하여 암실에서 10분 동안 정치한 다음, 300 W의 텅스텐 램프를 광원으로 하여 부착한 각 파장의 간섭필터 (400~700 nm, Koshin Kogaku Co.)를 이용하여 파장별 빛을 조사하였다. 광량 측정은 He-Ne laser로 보정한 thermofilm을 사용하였으며, 이 때 광량은 2.0×10^{14} 광자수/cm²이었다. 빛을 조사한 미토콘드리아는 액체 질소 상에서 반응을 정지시킨 후, 상온에서 녹여 막이 파괴된 미토콘드리아를 효소용액으로 사용하였다. 또한 빛을 조사하지 않은 group과 복합 파장의 빛을 조사한 group을 대조구로 하였다.

파장 변화에 따른 미토콘드리아성 ATP synthase의 활성도 측정

미토콘드리아성 ATP synthase의 활성도는 Rorive 등 (1972)의 방법을 인용하여, 기질로서 일정량의 ADP와 Pi를 가하고 효소반응에 의하여 ATP를 생성시킨 후, 감소된 Pi의 양을 정량 (Frenkel, 1954; Geller 등, 1960)하였다.

기질로써 5 mM ADP 수용액 0.2 ml와 10 mM Pi 수용액 0.2 ml에 10 mM Tris-HCl 완충용액 (pH 7.2) 0.5 ml를 가하고 37°C에서 3분간 열평형시킨 후, 각 파장별 빛을 각각 30분간 조사한 미토콘드리아성 ATP synthase 용액 0.1 ml를 가하고 37°C에서 10분 동안 반응시킨 다음, 10% TCA 수용액 2 ml를 가하여 효소반응을 정지시킨 후, syringe 여과 (pore size 0.45 μm, Millipore Co.)하여 침전물을 제거하였다. 이 여액에 2.5% AM 수용액 2 ml, 0.25% ANSA 시약 0.4 ml 및 Tris-HCl 완충용액 5 ml를 가하여

30분 동안 발색시킨 다음, 660 nm에서 흡광도(UV-Vis Spectrophotometer, Shimadzu M-240)를 측정하였다.

단백질 정량은 Sedmak(1977)의 방법으로 측정하였다. 이때 비활성도 단위는 37°C에서 매분당 1 mg의 효소단백질이 기질용액으로부터 감소시킨 1 μ mole의 Pi를 1단위로 하였으며, 이로써 최적 파장을 찾았다.

빛 조사(照射)시간 변화에 따른 ATP synthase의 활성도

최적 파장에서 미토콘드리아를 10초에서 30분까지 각각 빛을 조사한 후 위와 동일한 방법으로 효소의 비활성도를 측정하여 최적 빛 조사시간을 측정하였다.

빛 조사에 따른 ATP synthase의 최적 pH

위의 실험에서 얻은 최적 파장의 빛을 최적 시간 동안 조사하여 얻은 ATP synthase의 최적 pH는 Tris-HCl 완충용액의 pH를 7.0에서 8.5까지 각각 변화시켜 비활성도를 측정하였다.

빛 조사에 따른 ATP synthase의 최적 온도

미토콘드리아성 ATP synthase의 최적 온도는 최적 파장, 최적 빛 조사시간 및 최적 pH 조건하에서 25°C에서 67°C까지 온도를 각각 변화시켜 비활성도를 측정하였다.

금속이온 및 음이온 효과

최적 파장, 최적 조사시간, 최적 pH(최적 조건)에서 금속이온 및 음이온 효과는 각 이온의 농도를 변화시켜 효소용액에 가하여 37°C에서 10분 동안 효소반응을 시킨 후, Rorive 등(1972)의 방법에 따라 각각의 활성도를 측정하였다.

結果 및 考察

미토콘드리아의 분리 정제

설탕 농도 구배 원심분리법에 의하여 미토콘드리아를 분리정제한 결과 설탕 농도 57% 층에서 glyoxysome, 50% 층에서 proplastids를 그리고 44% 층에서 미토콘드리아를 얻었다.

파장 변화에 따른 ATP synthase의 활성도

각 파장의 빛을 30분 동안 조사한 후 측정된 미토콘드리아성 ATP synthase의 활성도 변화는 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 빛을 조사하지 않은 group과 복합 파장을 조사한 group

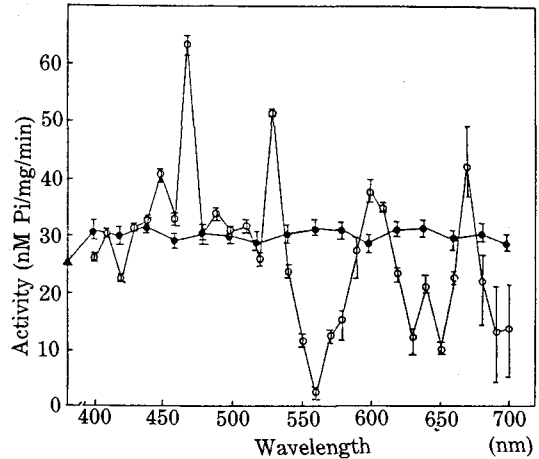


Fig. 1. Mitochondrial ATP synthase activity after illuminated each wavelengths for 30 min compared with control group.

(대조구)의 비활성도는 각각 25.0 및 31.1 단위였으나, 각 파장별 활성도는 다양한 변화를 보이고 있으며, 470 nm에서의 비활성도는 각각의 대조구에 비하여 37 단위 및 30.9단위가 증가됨으로써 가장 큰 활성도를 보였다. 이로써 포고버섯의 미토콘드리아성 ATP synthase는 470 nm의 빛에 의하여 크게 활성화 됨을 알았다. 앞서 보고(Min 등, 1987a)한 포고버섯 중 미토콘드리아성 ATPase의 최적 파장은 680 nm인 것으로 보아 미토콘드리아성 ATP synthase와 ATPase의 활성화 파장이 서로 다를 수 있다.

빛 조사시간 변화에 따른 ATP synthase의 활성도

미토콘드리아성 ATP synthase가 크게 활성화되는 470 nm의 빛을 조사시간 변화에 따라 측정된 비활성도 변화는 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 15초, 1분 그리고 30분 동안 빛을 조사하였을 때 그 비활성도가 67.8단위로서 각각의 대조구에 비하여 42.8 및 36.7단위 증가함을 보였다. 이로써 미토콘드리아성 ATP synthase는 470 nm의 빛을 15초 동안 조사하였을 때 가장 크게 활성화 됨을 알았다. 이는 미토콘드리아성 ATPase(Min 등, 1987a)의 680 nm 빛을 5분간 조사할 때 가장 활성화되는 결과와는 서로 상이하였다.

빛 조사에 따른 ATP synthase의 최적 pH

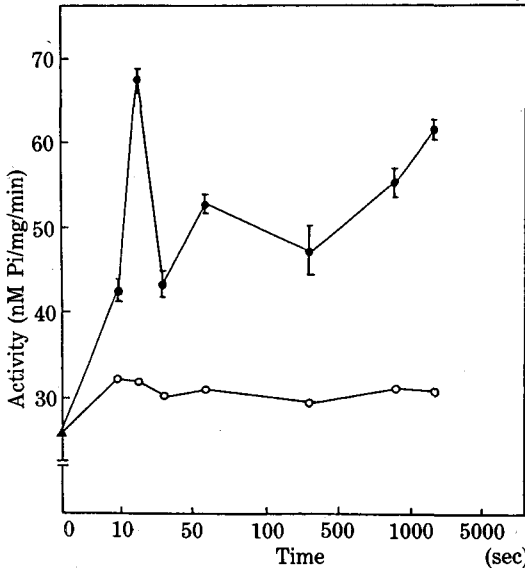


Fig. 2. Time dependence of mitochondrial ATP synthase activity at 470 nm.

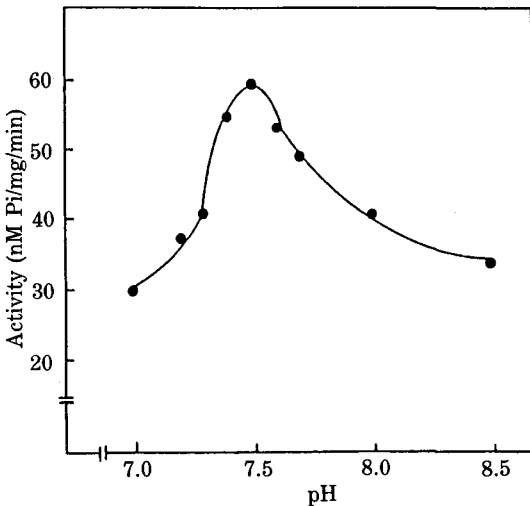


Fig. 3. Optimum pH of mitochondrial ATP synthase after light illumination for 15 sec. at 479 nm.

정제된 미토콘드리아를 최적 파장 470 nm 에서 15초(최적 조사시간) 동안 빛을 조사하여 pH 변화에 따른 활성도 변화는 Fig. 3과 같다.

Fig. 3에서 빛 조사에 따른 미토콘드리아성 ATP synthase의 최적 pH는 7.5였다. 이 결과는 시금치 엽록체 중의 ATP synthase(Allen 등, 1958)의 최적 pH 8.3과 쥐의 간중 미토콘드리아성 ATP synthase(Cooper 등, 1956)의 최

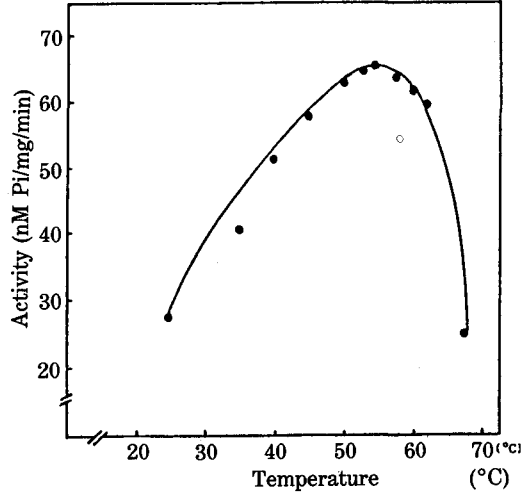


Fig. 4. Optimum temperature of mitochondrial ATP synthase after illumination for 15 sec. at 470 nm

적 pH 7.0과는 서로 상이하였다. 그러나 *R. rubrum* 박테리아의 chromatophore 중의 ATP synthase(Horio 등, 1972)와 NADH-induced ATP synthase(Yamashita 등, 1967)의 최적 pH 7.5와는 서로 동일하였다. 또한, 표고버섯에서 순수분리 정제한 ATPase(Min 등, 1986)의 최적 pH는 7.6이었으며, 미토콘드리아성 ATPase(Min 등, 1987a)의 최적 pH는 7.5로서 본 실험 결과와 유사하였다.

빛 조사에 따른 ATP synthase의 최적 온도

470 nm 빛을 15초 동안 조사하여 최적 pH 7.5에서 온도변화에 따른 미토콘드리아성 ATP synthase의 활성도는 Fig. 4와 같고, 이 그림에서 보는 바와 같이 이 효소의 최적 온도는 54°C이었다. 이 결과는 표고버섯에서 순수분리 정제한 ATPase(Min 등, 1986)의 최적 온도 58°C와는 서로 상이하였으나 광 조사에 따른 미토콘드리아성 ATPase(Min 등, 1987a)의 최적 온도 55°C와는 거의 유사하였다.

최적 조건에서의 금속이온 효과

최적 광조건으로 빛을 조사한 미토콘드리아성 ATP synthase의 최적 pH 및 최적 온도하에서 측정된 각 금속이온 효과는 Table I과 같고, Fe²⁺ 및 Fe³⁺ 이온의 효과는 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 0.5mmole Fe²⁺ 및 1

Table I. Cation effects of mitochondrial ATP synthase activity after illumination for 15 sec. at 470 nm.

Cation	Concentration (nmole)	Relative activity (%)
None		100
Fe ³⁺	0.1	117
	0.5	122
	1.0	126
	5.0	98
Fe ²⁺	0.1	104
	0.5	125
	1.0	104
	5.0	89
CO ²⁺	1.0	97
	0.5	95
	1.0	94
	5.0	90
Mn ²⁺	0.1	89
	0.5	82
	1.0	80
	5.0	78
Ca ²⁺	0.1	89
	0.5	81
	1.0	79
K ⁺	0.01	99
	0.05	101
	0.1	100
	0.5	100
Na ⁺	1.01	102
	0.05	101
	0.1	97
	0.5	97

mmole Fe³⁺ 이온 농도에서 최대 활성을 보였으며, 이들 이온이 없을 때에 비하여 25% 및 26%의 활성도를 증가시켰다. 그리고 Co²⁺ 및 Mn²⁺ 이온의 효과는 Fig. 6과 같고, 이 두 이온의 농도 증가에 따라 효소의 활성을 억제하였으나, 5 mmole Co²⁺ 및 5 mmole Mn²⁺ 이온 농도에서 각각 10% 및 22%의 활성을 억제하였다. Ca²⁺

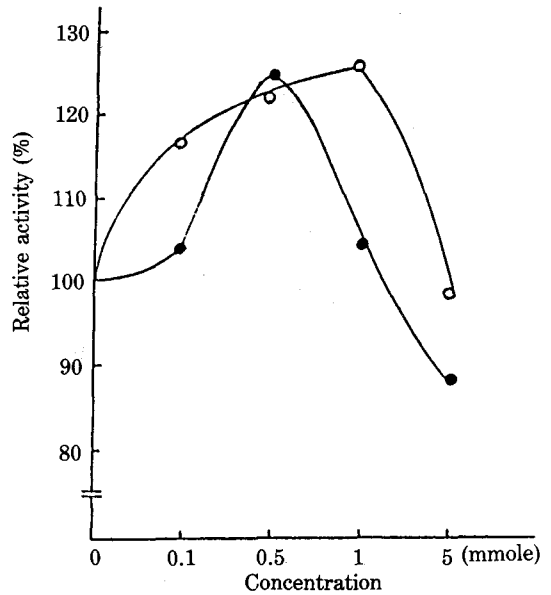


Fig. 5. Effects of Fe²⁺ and Fe³⁺ ion on the mitochondrial ATP synthase activity after illumination for 15 sec. at 470 nm.

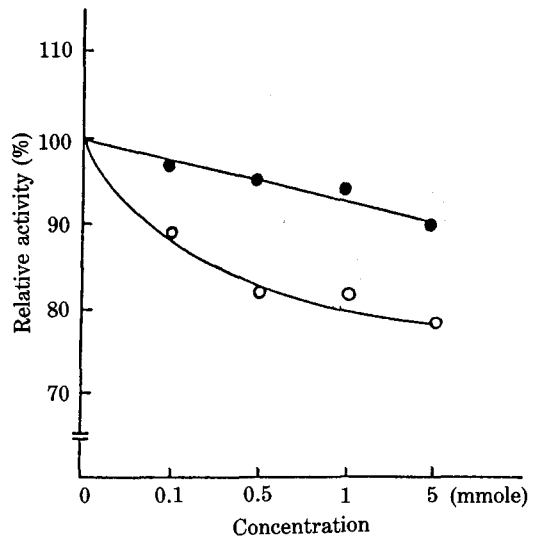


Fig. 6. Effects of Co²⁺ and Mn²⁺ ion on the mitochondrial ATP synthase activity after illumination for 15 sec. at 470 nm.

이온효과는 Fig. 7과 같고, 그 이온 농도가 증가함에 따라 효소의 활성을 크게 억제하였으나, 1 mmole Ca²⁺ 이온 농도때 21%의 억제효과를 보였다. 또한 K⁺ 및 Na⁺ 이온 효과는 Fig. 8과 같고 그림에서 보는 바와 같이 K⁺ 이온은 농도변화

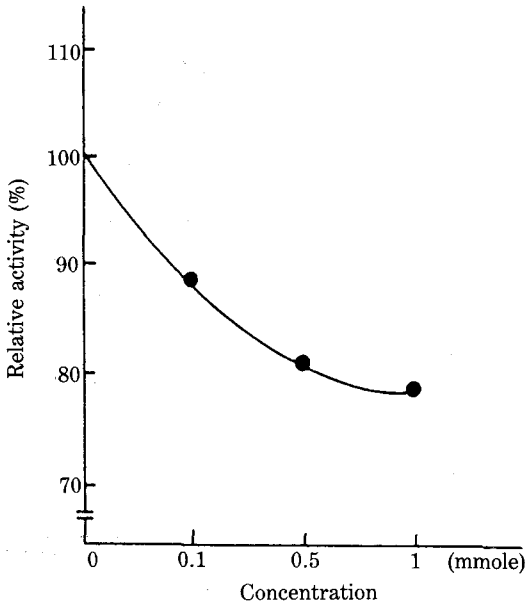


Fig. 7. Effect of Ca^{2+} ion on the mitochondrial ATP synthase activity after illumination for 15 sec. 470 nm.

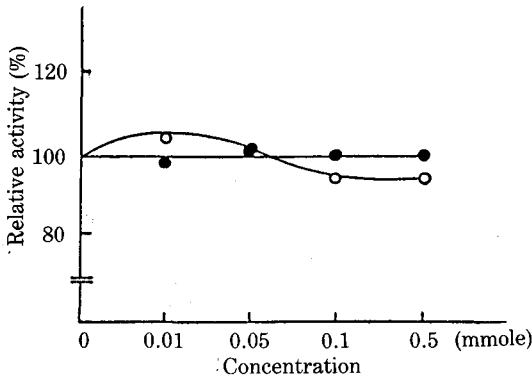


Fig. 8. Effects of K^+ and Na^+ ion on the mitochondrial ATP synthase activity after illumination for 15 sec. at 470 nm.

에 따라 효소활성에 영향을 주지 않았으나, Na^+ 이온은 그 농도가 0.01mmole 일 때 3%의 활성을 증가시켰으나, 0.1mmole 일 때는 3%의 억제효과를 보여 이 두 이온은 활성에 별로 영향을 주지 않았다.

본 실험실에서 이미 보고한 표고버섯 중의 순수히 분리 정제된 ATPase (Min 등, 1986)의 경우 5mmole Fe^{3+} , 5mmole Na^+ 및 5mmole Co^{2+} 이온은 각각 130, 65, 67% 및 23%의 효소의 활

Table II. Anion effects of mitochondrial ATP synthase activity after illumination for 15 sec. at 470 nm.

Anion	Concentration (nmole)	Relative activity (%)
None		100
CN^-	0.1	85
	1.0	69
	5.0	47
NO_3^-	0.1	100
	0.5	99
	1.0	102
	5.0	101
CO_3^{2-}	1.0	95
	0.5	94
	1.0	97
	5.0	95
SO_4^{2-}	0.1	105
	0.5	107
	1.0	112
	5.0	114

성을 증가시켰고, 1mmole Ca^{2+} 이온은 27% 효소활성을 억제시켜, 본 실험의 미토콘드리아성 ATP synthase에 있어서의 Fe^{3+} , Fe^{2+} 및 Ca^{2+} 이온은 ATPase와 유사한 경향을 보였으나, Co^{2+} , Mn^{2+} 및 Na^+ 이온은 상반된 효과를 나타내었다. 또한 표고버섯 중의 미토콘드리아성 ATPase (Min 등, 1987a)는 5mmole Fe^{3+} , 0.1mmole Fe^{2+} , 0.1mmole Ca^{2+} 및 0.5mmole K^+ 이온에 의해 각각 78, 40, 10% 및 25%의 효소활성이 증가되었으며, 5mmole Na^+ 이온에 의해서는 24%의 효소활성이 억제됨으로써, 본 실험에서의 Fe^{3+} , Fe^{2+} 및 Na^+ 이온과는 유사한 경향을 보였으나, Ca^{2+} 이온과는 상반된 경향을 나타내었다. 본 실험에서 빛 조사에 따른 미토콘드리아성 ATP synthase가 Fe^{3+} 및 Fe^{2+} 이온에 의해서 특이하게 효소활성이 증가되는 결과는 버섯이 성장하는 그 지역의 토양에 존재하는 Fe^{3+} 및 Fe^{2+} 이온 화합물에 기인하는 것으로 추정된다.

최적 조건에서의 음이온 효과

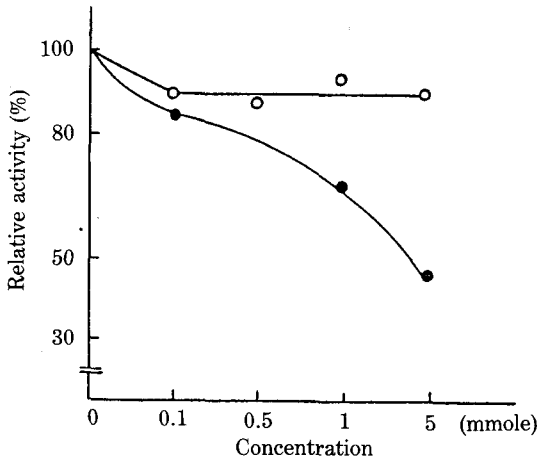


Fig. 9. Effects of CN⁻ and CO₃²⁻ ion on the mitochondrial ATP synthase activity after illumination for 15 sec. at 470 nm.

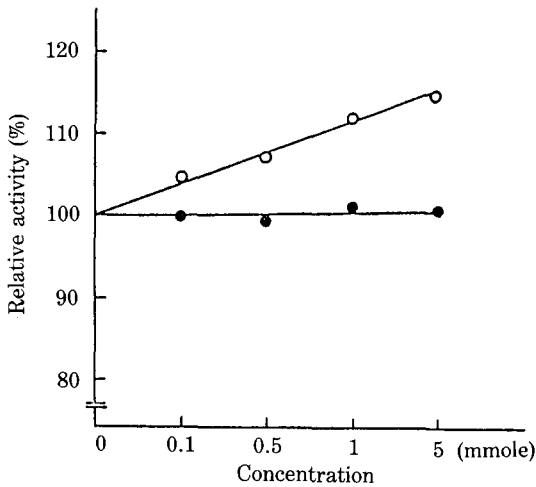


Fig. 10. Effects of NO₃⁻ and SO₄²⁻ ion on the mitochondrial ATP synthase activity after illumination for 15 sec. at 470 nm.

최적 광조사 조건, 최적 pH 및 온도하에서 이 효소에 대한 각 음이온 효과는 Table II와 같고 CN⁻ 및 CO₃²⁻ 이온효과는 Fig. 9와 같다.

Fig. 9에서와 같이 미토콘드리아성 ATP synthase는 CN⁻ 및 CO₃²⁻ 이온의 농도증가에 따라 효소의 활성을 억제시키지만, 5 mmole CN⁻ 및 0.1 mmole CO₃²⁻ 이온에 의하여 각각 53% 및 5%의 활성이 억제되었다. 또한 NO₃⁻ 및 SO₄²⁻ 이온효과는 Fig. 10과 같고, NO₃⁻ 이온은 이 효소의 활성에 영향을 주지 않으나 SO₄²⁻ 이온

효과는 그 농도 증가에 따라 효소활성이 증가하여 5 mmole SO₄²⁻ 이온 농도에서 14%의 활성을 증가시켰다.

전자전달계의 저해제로 알려진 CN⁻ 이온 (Lehninger, 1982)의 경우, *R. rubrum* 박테리아의 chromatophore 중 ATP synthase (Yamashita 등, 1967)에서는 0.01 mmole CN⁻ 이온에 의하여 90% 효소의 활성이 억제된 데에 비하여, 본 실험에서는 53% 억제되어 유사한 경향을 나타내었으며, 순수히 분리 정제한 ATPase (Min 등, 1986)에 대하여 CN⁻, CO₃²⁻ 및 NO₃⁻ 이온은 효소의 활성을 억제하였고, SO₄²⁻ 이온은 효소의 활성을 증가시킨 것으로 보아, 본 실험의 결과와 유사하였다.

摘 要

1. 표고버섯 중의 미토콘드리아는 설탕 농도 구배 원심분리법에 의하여 설탕 농도 44% 층에서 분리 정제되었다.
2. 파장 변화에 따른 미토콘드리아성 ATP synthase의 활성도는 470 nm의 빛이 조사될 때 효소의 활성도가 가장 크게 증가되었다.
3. 최적 파장 470 nm의 빛 조사의 시간변화에 따른 효소의 활성도는 15초 동안 빛을 조사하였을 때 가장 크게 활성화되었다.
4. 위의 최적 빛 조사 조건에서 이 효소의 최적 pH는 7.5, 최적 온도는 54°C이었다.
5. 최적 빛 조사 조건에서 이 효소는 Fe³⁺, Fe²⁺ 및 SO₄²⁻ 이온에 의하여 활성화되었으나, 반면 Co²⁺, Mn²⁺, Ca²⁺, Na⁺, CO₃²⁻ 및 CN⁻ 이온에 의하여 그 활성이 억제되었다.
6. K⁺ 및 NO₃⁻ 이온은 이 효소의 활성도에 영향을 주지 않았다.

參考文獻

- Allen, M.B., Whatley, F.R. and Arnon, D.I. (1958): Photosynthesis by isolated chloroplasts (III). *Biochim. Biophys. Acta.* **27**: 16-21.
- Arnon, D.I., Allen, M.B. and Whatley, F.R. (1956): Photosynthesis by isoalted chloroplasts (IV). *Biochim. Biophys. Acta.* **20**: 449-461.

- Blair, P.V. (1967): The large-scale preparation properties of heart mitochondria from slaughter house material. *Methods Enzymol.* **10**: 78-81.
- Catterall, W.A. and Pederson, P.L. (1971): Adenosine Triphosphatase from rat liver mitochondria. *J. Biol. Chem.* **246**: 4987-4994.
- Cooper, C and Lehninger, A.L. (1956): Oxidative phosphorylation by an enzyme complex from extracts of mitochondria. *J. Biol. Chem.* **219**: 489-560.
- Cooper, T.G. and Beevers, H. (1969): Mitochondria and glyoxysomes from endosperm enzyme constituents and catalytic capacity. *J. Biol. Chem.* **244**: 3507-3513.
- Devlin, M.B. and Lehninger, A.L. (1958): The preparation of phosphorylating subfragments of rat liver mitochondria with digitonin. *J. Biol. Chem.* **223**: 1586-1588.
- Frenkel, A. (1954): Light-induced phosphorylation by cell-free preparations of photosynthetic bacteria. *J. Am. chem. Soc.* **76**: 5568-5574.
- Geller, D.M. and Lipman, F. (1960): Photophosphorylation in extracts of *Rhodospirillum rubrum*. *J. Biol. Chem.* **235**: 2478-2484.
- Hatefi, Y. and Lester, R.L. (1958): Studies on the mechanism of oxidative phosphorylation (III). *Biochim. Biophys. Acta.* **27**: 83-88.
- Horio, T., Horiruti, Y., Yamamoto, N. and Nishikawa, N. (1972): Light-influenced ATPase activity; Bacteria. *Methods. Enzymol.* **24**: 96-103.
- Kielly, W.W. and Kielly, R.K. (1953): A specific Adenosine Triphosphatase of liver mitochondria. *J. Biol. Chem.* **200**: 213-222.
- Lehninger, A.L. (1982): "Principle of Biochemistry": Worth Publisher, Inc. pp 483.
- Leonard, R.T. and Woude, W.J. (1976): Isolation of plasma membrane from corn roots by sucrose density gradient centrifugation. *Plant Physiol.* **57**: 105-114.
- Min, T.J. and Song, P.S. (1984): Chemical actinometric determination of ATP in *Stentor coeruleus*. *Photochem. Photobiol.* **39**: 76-83.
- Min, T.J. and Song, P.S. (1985): Light-induced variations in cellular ATP level of *Stentor coeruleus*. *Photochem. Photobiol.* **41**: 120S.
- Min, T.J. and Park, H.R. (1986): Studies on the ATPes in the mushroom (*Lentinus edodes* (Berk.) Sing.). *J. Nat. Sci. Inst. Dongguk Univ.* **6**: 89-96.
- Min, T.J., Choi, S.W. and Park, S.S. (1987a): Studies on the development of photoreceptor in the nonchromatophore organisms (I). *Kor. J. Mycol.* **15**, 217-223.
- Min, T.J., Cho, S.W., Kim, Y.S., Kim, J.W. and Mheen, T.I. (1987b): Studies on the development of photoreceptor in the nonchromatophore organism (II). *Kor. J. Mycol.* **15**: 224-230
- Okamoto, H., Sone, H., Hirata, H. and Kagawa, Y. (1977): Purified proton conductor in translocating ATPase. *J. Biol. Chem.* **252**: 612-6131.
- Racker, E. (1976): The possible organization of the polypeptides of F₁F₀-ATPase. *Trends. Biochem. Sci.* **1**: 244-255.
- Rorive, G. and Kleinzeller, A. (1972): The effects of ATP and Ca²⁺ on the cell volume in isolated kidney tubules. *Biochim. Biophys. Acta.* **274**: 226-239.
- Sedmak, J.J. and Grosberg, S.E. (1977): A rapid sensitive and versatile assay for protein using coomassie brilliant blue G-250. *Anal. Biochem.* **79**: 544-552.
- Smith, L. and Battscheffsky, M (1959): respiration light-induced and extracts *R. rubrum*. *J. Biol. Chem.* **234**: 1575-1579.
- Vishiniac, W. and Ochoa, S. (1952): Phosphorylation coupled to photochemical reduction of pyridine nucleotides by chloroplast preparation. *J. Biol. Chem.* **198**: 501-506.
- Yamashita, J., Yoshimura, S. and Matuo, Y. (1967): Relationship between photosynthetic and oxidative phosphorylations in chromatophores from light-grown cells of *R. rubrum*. *J. Biol. Chem.* **143**: 154-172.

Accepted for Publication 2 June 1989