

Mortierella isabellina IFO 8183 에 의한 γ -Linolenic Acid 생산

양동현 · 남희섭 · 이상협* · 방원기*
(주)농심 기술개발연구소, *고려대학교 농과대학 농화학과

Production of γ -Linolenic Acid by *Mortierella isabellina* IFO 8183

Dong-Hyun Yang, Hee-Sop Nam, Sang-Hyub Lee* and Won-Gi Bang*

Research and Development Center, Nong Shim Co., Ltd., Anyang
*Department of Agricultural Chemistry, Korea University,

Abstract

To produce γ -linolenic acid by a mold, cultural conditions of *Mortierella isabellina* IFO 8183 were investigated. It was found that the increase of initial pH resulted in the decrease of the γ -linolenic acid content and the increase of the C/N ratio of medium resulted in the increase of the lipid content. Addition of sodium acetate into the medium resulted in the increased of cell yield, lipid yield, γ -linolenic acid content and γ -linolenic acid productivity. Under the optimum conditions (glucose, NH_4NO_3 , C/N ratio of 40, pH 6.0, 30°C and 0.5% of sodium acetate), the following results were obtained: cell yield, 0.347(g dry biomass/g glucose; lipid yield, 0.18(g lipid/g glucose); lipid content, 0.52(g lipid/g dry biomass); γ -linolenic acid content, 60(mg γ -linolenic acid/g lipid); maximum γ -linolenic acid concentration, 347 mg/l after incubation of 8 days.

Key words: γ -linolenic acid, fungal oil, *Mortierella isabellina*

서 론

γ -Linolenic acid (6,9,12-octadecatrienoic acid, 이하 GLA)는 6, 9, 12번 위의 탄소에 cis형 이중결합을 갖는 탄소수 18개의 직쇄상 지방산으로 체내에서는 합성되지 않는 필수 지방산의 하나이며, 비타민 F의 한 종류로 알려져 있다⁽¹⁾.

GLA는 체내에 흡수되면 여러가지 약리작용을 갖는 생리활성물질인 prostaglandin으로 전환되며, 최근에는 prostaglandin이 동맥경화, 심근경색, 위궤양, 노화방지, 비만증 등과 관계가 있는 새로운 의약품으로 기대됨에 따라 GLA의 생산에 대한 관심이 증대되고 있다⁽²⁾. 최근까지 GLA는 약 24%의 지질과 7-14%의 GLA를 함유하는 달맞이꽃 종자로부터 유기용매 추출

법에 의해 생산되어 왔으나 달맞이꽃 재배만에도 1년이 소요되며, 수확된 종자 중에도 GLA의 함량이 일정하지 않으며, 구성 지방산의 조성도 약 70%가 linoleic acid로 구성되어 있어서 GLA만을 분리 정제하는데 어려운 점이 있다는 등의 문제점이 많다⁽³⁾. 그러나, 미생물학적 생산법으로 사상균을 이용하여 GLA를 생산할 경우에 사상균의 지질로부터 GLA의 분리는 비교적 용이하며, 유효한 생리활성이 있는 것으로 알려진 극성 지질 중에 GLA가 많이 함유되어 있어서 GLA를 다량 함유하는 극성지질이 고순도로 정제된다면 GLA의 특이한 생리작용과 함께 흥미있는 의약전구체의 개발대상이 될 가능성이 있다⁽⁴⁾.

최근에 *Rhizopus arrhizus*⁽⁵⁾와 *Mortierella* sp.⁽⁶⁻⁹⁾를 이용한 GLA 생산에 관한 연구가 진행되고 있으며, 국내에서도 *M. ramanniana* var. *angulispora* IFO 8187의 배양학적 특성에 관한 연구⁽¹⁰⁾와 토양으로부터 GLA 함량이 높은 균주의 분리에 관한 연구⁽¹¹⁾가 보고되어 있다. 미생물을 이용한 GLA의 생산시에는 사용

Corresponding author: Won-Gi Bang, Department of Agricultural Chemistry, Korea University, Anamdong, Sungbuk-ku, Seoul 136-701

균주, 기질 종류 및 배양조건 등에 따라 지질의 생산 뿐만 아니라 구성 지방산의 조성도 변화되는 것으로 알려져 있다⁽¹²⁾.

본 연구에서는 *Mortierella isabellina* IFO 8183 을 사용한 GLA 생산에 있어서 탄소원, 질소원, C/N율, 온도, pH 및 sodium acetate의 첨가 등 여러 인자가 균의 생육, 지질생산 및 지질 중 GLA 함량의 변화에 미치는 영향을 검토하였다.

재료 및 방법

균주

본 실험의 공시균주인 *Mortierella isabellina* IFO 8183은 한국중균협회를 통하여 IFO에서 분양받았으며, potato dextrose agar 사면배지를 사용하여 2주간격으로 1주일간 계대배양하였으며, 4°C에서 보관하였다.

배지 및 배양방법

지질생산을 위한 배지로는 glucose 32.0g, NH_4NO_3 0.9g, KH_2PO_4 3.0g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5g, NaCl 0.1g, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 10.0mg, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 10.0mg, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.3mg, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.0mg, $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1.0mg, thiamine HCl 2.0mg 및 biotin 0.02mg을 증류수 1l에 녹여 사용하였다. 상기 조성의 배지를 2N NaOH 용액으로 pH 6.0으로 조정후, 500ml 용삼각플라스크에 100ml씩 분주하고 121°C에서 15분간 가압살균하였다. 여기에 상기 배지를 이용하여 30°C에서 3일간 진탕배양(150 rpm)한 전배양액을 2%(v/v)가 되도록 접종하고 동일 조건에서 8일간 진탕배양하였다.

지질의 추출 및 정제

동결건조한 균체 약 1g을 원통여지에 담아 Soxhlet 장치에 넣고 추출용매(chloroform : methanol = 2 : 1, v/v) 60ml를 가하여 90°C에서 10시간 환류시킨 후, 추출된 지질층을 rotary evaporator을 사용하여 감압농축하고, Folch's washing method⁽¹³⁾에 따라 정제하였다.

분석방법

균체의 생육은 배양액 100ml를 원심분리하여 얻어진 습균체를 증류수로 수 회 세척한 후, 항량이 될 때

까지 동결건조시켜 건조 균체량으로 측정하였다.

환원당은 Miller 등⁽¹⁴⁾의 방법에 따라서 dinitrosalicylic acid 시약을 사용하여 측정하였으며, 비환원당은 HPLC(waters, USA : column, Aminex HP X-87 carbohydrate : eluent, H_2O 0.5 ml/min ; column temp., 85°C ; detector, differential refractor R401)를 사용하여 측정하였다.

정제된 지질의 지방산 조성은 AOAC의 방법⁽¹⁵⁾에 따라서 BF_3 -MeOH 용액을 사용하여 시료를 메틸화한 후, GC(Spectra Physios SP7100, USA ; FID detector, 220°C ; 15% DEGS-chromosorb WHP column, 185°C ; Carrier gas, He 20 ml/min ; injector temp., 230°C)를 사용하여 분석하였다.

배양액 중의 질소함량은 Kjeltac Auto 1030 analyzer(Tecator, Sweden)을 사용하여 Kieldahl 법으로 측정하였다.

결과 및 고찰

탄소원의 영향

지질생산배지에 C/N율이 40이 되도록 각종 탄소원을 첨가한 후, 30°C에서 8일간 진탕배양하여 균체 생육과 지질 생산성을 비교, 검토한 결과 Table 1과 같았다. 균체의 생육은 galactose를 사용하였을시 균체수율이 0.341g/g으로 가장 높았으나, 단위 지질 중량당 GLA 함량은 47mg/g으로 가장 낮았다. 지질수율은 arabinose, xylose, fructose, glucose 및 galactose의 경우에 상호간에 큰 차이는 없었으나, 지질함량은 glucose를 사용하였을 때 0.33g/g으로 가장 높았다. GLA 함량은 maltose의 경우에 99mg/g으로 가장 높았으나, 지질수율은 0.05g/g으로 가장 낮았다. 한편, GLA 생산량은 glucose를 사용하였을시, 182mg/l로서 가장 높았다. 따라서, 최적 탄소원으로 glucose를 선정하였다.

이상의결과는 Hoffmann과 Rehm⁽¹⁶⁾이 *M. isabellina* CBS 224.32를 이용한 지질생산에 있어 glucose를 사용하였을시 균체수율, 지질함량 및 GLA 함량은 각각 0.188g/g, 0.272g/g 및 38mg/g이었으며 이들은 탄소원의 종류에 따라 변화한다는 결과와 일치하는 것이었다.

질소원의 영향

M. isabellina IFO 8183의 균체내 지질생산에 대한

Table 1. The effect of carbon sources on the intracellular lipid production by *M. isabellina* IFO 8183*

Carbon source	Cell yield ^{a)}	Lipid yield ^{b)}	Lipid content ^{c)}	γ -Linolenic acid content ^{d)}	γ -Linolenic acid (mg/l)
L-Arabinose	0.113	0.12	0.30	79	85
D-Xylose	0.319	0.12	0.32	49	160
D-Fructose	0.338	0.11	0.28	57	172
D-Galactose	0.341	0.13	0.30	47	154
D-Glucose	0.297	0.12	0.33	58	182
Cellobiose	0.307	0.08	0.11	58	58
Maltose	0.259	0.05	0.19	99	156
Sucrose	0.333	0.07	0.17	64	109

*The C/N ratio of culture medium was 40 and 1.5 g/l of $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ was used as a nitrogen source.

^{a)}Cell yield is expressed as g dry biomass/g carbon source.

^{b)}Lipid yield is expressed as g lipid/g carbon source.

^{c)}Lipid content is expressed as g lipid/g dry biomass.

^{d)} γ -Linolenic acid content is expressed as mg γ -linolenic acid/g lipid.

Table 2. The effect of nitrogen sources on the intracellular lipid production by *M. isabellina* IFO 8183*

Nitrogen source	Cell yield ^{a)}	Lipid yield ^{b)}	Lipid content ^{c)}	γ -Linolenic acid content ^{d)}	γ -Linolenic acid (mg/l)
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0.297	0.12	0.33	58	182
NH_4NO_3	0.303	0.17	0.47	65	296
NH_4Cl	0.297	0.16	0.45	63	269
$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	0.316	0.09	0.29	63	185
KNO_3	NG	—	—	—	—
NaNO_3	NG	—	—	—	—

*The C/N ratio of culture medium was 40 and 32 g/l of D-glucose was used as a carbon source.

^{a)}Cell yield is expressed as g dry biomass/g D-glucose.

^{b)}Lipid yield is expressed as g lipid/g D-glucose.

^{c)}Lipid content is expressed as g lipid/g dry biomass.

^{d)} γ -Linolenic acid content is expressed as mg γ -linolenic acid/g lipid.

NG, No growth observed.

질소원의 영향을 조사하기 위해 지질생산배지의 glucose 농도를 32 g/l로 고정시키고 C/N율이 40이 되도록 각종 질소원을 첨가하고 30°C에서 8일간 진탕배양하여 균체 생육과 균체 내 지질 생산량을 비교, 검토하였다. Table 2에서 나타낸 바와 같이 NO_3 태 질소원인 NaNO_3 와 KNO_3 을 사용했을시 균체 생육이 일어나지 않아 본 균주든 이들 질소원을 이용할 수 없는 것으로 판명되었다. 균체수율은 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 을 사용하였을 때 0.316 g/g으로 균의 생육이 가장 좋았으며, 지질함량은 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4Cl , NH_4NO_3 의 순서로 높게 나타났다. 지질수율은 NH_4NO_3 을 사용했을시 0.17 g/g으로 가장 높았다. 단위 지질증량당 GLA 함량은 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, NH_4Cl 및 NH_4

NO_3 의 경우에 큰 차이가 없었다. NH_4NO_3 를 질소원으로 사용한 경우 균체수율, 지질함량, GLA 함량 및 GLA 생산량은 각각 0.303 g/g, 0.47 g/g, 65 mg/g 및 296 mg/l로서 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 에 비하여 GLA 생산성이 약 63% 증가한 것이었다. 따라서, 최적의 질소원은 NH_4NO_3 로 판단되었다.

이상의 결과는 Suzuki 등⁽⁶⁾이 *M. isabellina* IFO 7884를 이용한 지질생산에 있어서 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 를 사용하였을시 균의 생육이 가장 좋았다는 결과와는 잘 일치하는 것이었으나, 지질수율과 지질함량이 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 을 사용하였을 때 가장 좋았다는 결과와는 다소 상이한 결과이었다. 그러나, 질소원에 따라 이들 요인이 변화한다는 경향과는 잘 일치하였다.

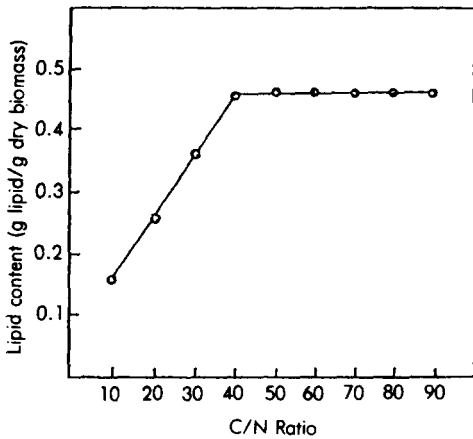


Fig. 1. Effect of the C/N ratio on the intracellular lipid content of *M. isabellina* IFO 8183.

C/N율의 영향

C/N율이 균체내 지질생산에 미치는 영향을 조사하기 위하여 NH₄NO₃의 농도를 0.9g/l로 고정하고 glucose의 농도를 달리하여 C/N율을 10-90까지 변화시키면서 배양에 따른 지질함량의 변화를 검토했다. Fig.1에서 균체내 지질함량은 C/N율이 40에 이를 때까지는 직선적인 비례관계로 계속 증가하나, 그 이상의 C/N율에서는 지질함량이 포화되는 경향을 나타내었다. C/N율이 40일 때 지질함량은 0.465g/g으로 균체내에 지질이 최대로 축적됨을 알 수 있었다.

이상의 결과는 Suzuki 등⁽⁶⁾이 *M. isabellina* IFO 7884을 사용한 지질생산에 있어서 C/N율이 11.4이었을 때 최대이었다는 결과와는 다소 상이한 것이었으나, C/N율이 변화함에 따라 지질수율이 변화된다는 경향과 잘 일치하는 것이었다.

배양온도의 영향

배양온도가 균의 생육, 지질함량 및 지질의 지방산 조성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 C/N율을 40으로 하고 배양온도를 20, 25, 30 및 35°C로 하여 8일간 진탕배양한 결과 Table 3과 같았다. 30°C일 때의 균체량은 9.6g/l로서 20°C에 비하여 약 2배 정도 높았으며, 35°C에서는 감소하는 경향을 나타내어 균의 생육에는 30°C가 가장 좋았으나, 지질함량과 지질의 불포화도는 배양온도가 감소함에 따라 모두 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 20°C일 때 각각 0.5g/g과 0.99로서 가장 높았다. 비록 20°C일 때 GLA의 함량과 불포화도가 높았으나 균체수율과 지질 수율면에서 볼 때 총 GLA 생산량은 30°C에서 가장 높았기 때문에 최적인 배양온도는 30°C이었다.

이상의 결과는 Yoo 등⁽¹⁹⁾이 *Mucor plumbeus*을 이용한 지질생산에 있어서 온도가 증가함에 따라 지질함량이 높아졌다는 보고와 상이한 것이었으나, Ratledge⁽¹⁷⁾가 낮은 배양온도에서는 linoleic acid와 linolenic acid가 많이 생성되며, oleic acid는 감소된다는 보고와는 잘 일치하는 것이었다.

초기 pH의 영향

초기 pH가 균의 생육과 지질생산에 미치는 영향을 검토하기 위하여 지질 생산배지의 초기 pH를 2.0-9.0의 범위로 조정하여 8일간 진탕배양한 결과, Fig.2와 같았다. 지질함량은 초기 pH가 증가함에 따라 계속적으로 감소하는 경향을 나타내었으나, 균의 생육, GLA 함량 및 GLA 생산량은 초기 pH가 7.0에 이를 때까지 계속 증가하다가 그 이상의 pH에서는 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 한편, 초기 pH가 지질의 지방산 조성에 미치는 영향을 비교, 검토한 결과 Table 4와 같이 지방산의 불포화도는 pH 6.0-7.0의 범위에서

Table 3. Effect of culture temperature on the cell growth, lipid content and fatty acid composition of *M. isabellina* IFO 8183

Temperature (°C)	Dry biomass (g/l)	Lipid content ^{a)}	Fatty acid composition							Degree of unsaturation* Δ/mol
			C _{14:0}	C _{16:0}	C _{16:1}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	
20	4.9	0.500	0.5	18.7	1.8	2.5	60.8	7.9	6.9	0.99
25	8.4	0.470	0.4	20.2	1.7	2.6	52.2	8.1	6.4	0.94
30	9.6	0.460	0.5	0.5	22.4	3.8	56.7	8.2	5.8	0.92
35	7.2	0.448	0.5	20.7	2.4	4.2	55.6	7.6	5.3	0.89

^{a)}Lipid content is expressed as g lipid/g dry biomass.

*Degree of unsaturation (/mol) = 1.0 × [(% monoens/100)] + 2.0 × [(% diens/100)] + 3.0 × [(% triens/100)].

C_{14:0}-Myristic acid, C_{16:0}-Palmitic acid, C_{16:1}-Palmitoleic acid, C_{18:0}-Stearic acid, C_{18:1}-Oleic acid, C_{18:2}-Linoleic acid, C_{18:3}- γ -Linolenic acid.

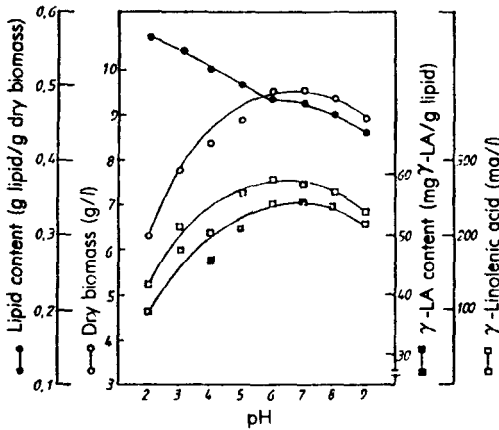


Fig. 2. Effect of initial pH on the intracellular lipid production by *M. isabellina* IFO 8183.

가장 높은 0.91을 나타내었으나, 그 이상이나 이하의 pH에서는 감소하는 경향을 보였다. 최대 GLA 생산

량은 254 mg/l로서 pH 6.0일 때 이루어졌다.

이상의 결과는 Yokochi와 Suzuki⁽⁹⁾가 *M. isabellina* IFO 7884를 이용한 지질생산에서 초기 pH가 6.0이었을 때 균의 생육이 가장 좋으며, 균체내 지질의 축적은 pH가 감소함에 따라 촉진되고 지질의 불포화도가 중성 pH 영역에서 높았다는 결과와 잘 일치하는 것이었다.

Sodium acetate의 첨가효과

일반적인 지질의 생산성 향상을 위해 보편적으로 사용할 수 있는 수단의 하나로써 첨가물의 효과를 생각할 수 있으며, 본 실험에서는 균체내의 지방산 합성계의 대사를 촉진하는 것으로 생각되는 sodium acetate (SA)의 첨가에 의한 지질생산과 축적된 지방산의 조성에 대한 영향을 조사하였다. SA 첨가량과 첨가 시기를 달리하여 30°C에서 8일간 진탕배양한 결과 Table 5와

Table 4. The effects of initial pH on the fatty acid composition of *M. isabellina* IFO 8183

pH	Fatty acid composition (%)							Degree of unsaturation ^{a)} , Δ/mol
	C _{14:0}	C _{16:0}	C _{16:1}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	
2	0.8	26.6	1.4	4.4	52.5	9.2	3.8	0.84
3	0.7	24.3	1.6	4.0	54.9	9.0	4.6	0.88
4	0.7	25.4	1.5	3.8	54.7	9.2	4.8	0.88
5	0.7	24.5	1.5	3.7	55.4	8.4	4.9	0.88
6	0.8	23.1	1.4	3.2	56.8	8.3	5.3	0.91
7	0.6	22.3	1.6	2.9	57.7	8.0	5.3	0.91
8	0.6	23.2	1.4	4.0	55.8	8.3	5.3	0.90
9	0.7	23.6	1.5	4.2	55.5	7.9	5.2	0.88

a) Degree of unsaturation (Δ/mol) = 1.0 × [(% monoenes/100)] + 2.0 × [(% dienes/100)] + 3.0 × [(% trienes/100)].

Table 5. The effect of sodium acetate on the intracellular lipid production and the fatty acid composition *M. isabellina* IFO 8183

Addition time (hr)	Addition amount (g/l)	Cell yield ^{a)}	Lipid yield ^{b)}	Lipid content ^{c)}	Fatty acid composition (%)							Degree of unsaturation ^{a)} , Δ/mol
					C _{14:0}	C _{16:0}	C _{16:1}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	
Control		0.302	0.151	0.50	0.6	21.3	2.0	3.9	53.3	8.0	5.2	0.89
0	5	0.346	0.180	0.52	0.8	25.6	2.6	2.8	51.7	9.2	6.0	0.91
	10	0.321	0.164	0.51	0.7	26.3	1.1	3.8	51.1	9.0	5 1/2	0.87
48	5	0.299	0.146	0.49	0.7	24.0	1.5	5.7	53.3	8.4	5.0	0.87
	10	0.182	0.073	0.40	0.7	25.8	1.6	5.1	51.8	9.5	4.5	0.86

*Degrees of unsaturation (Δ/mol) = 1 × [(% Monoenes/100)] + 2.0 × [(% dienes/100)] + 3.0 × [(% trienes/100)].

a) Cell yield is expressed as g dry biomass/g D-glucose.

b) Lipid yield is expressed as a lipid/g D-glucose.

c) Lipid content is expressed as g lipid/g dry biomass

같았다. SA를 첨가하지 않은 대조구에 비해 배양 초기에 SA를 첨가한 경우에는 SA의 첨가농도에 관계 없이 균체수율과 지질함량이 증가되었으나 배양 48시간째에 첨가한 경우는 대조구에 비해 균체수율과 지질함량이 다소 감소하였다. 지방산의 조성은 배양 초기에 5 g/l의 SA를 첨가함으로써 불포화도가 0.89에서 0.91로 증가되었다. 또한, GLA 함량과 GLA 생산량도 SA 첨가에 의해 52 mg/g에서 60 mg/g으로, 251 mg/l에서 346 mg/l로 각각 대조구에 비해 15.4%와 37.8%가 증가되었다.

이상의 결과는 Suzuki⁽¹⁰⁾가 *Mortierella* 속 A, B, C, D, E, F 균주를 사용한 지질생산에 있어 SA 첨가에 의해 균체수율, 지질수율 및 GLA 생성량이 증가되었다는 결과와 일치하였으나, SA의 첨가 시기에 따라 이 수치들이 다소 감소되는 역효과를 나타낸 것은 상이한 결과이었다.

이상에서, 배양조건에 따른 균주 *M. isabellina* IFO 8183에 의한 균의 생육, 지질생산 및 균체내 축적된 지질의 지방산 조성의 변화에 대하여 검토하였다. 배양 온도 및 pH의 변화에 의해 균체내에 축적되는 지질의 지방산 조성이 변화되며, 지질함량은 C/N 비가 40에 이를 때까지 계속적으로 증가하나 이 이상에서는 포화되는 경향을 나타냄을 알 수 있었다. 또한, 배양 초기에 0.5% (w/v)의 sodium acetate를 첨가함으로써 지방산의 불포화도가 증가되고, GLA 함량과 GLA 생산량도 각각 15.4%와 37.8%로 증가되었다. 최대 GLA 생산은 NH_4NO_3 과 glucose를 질소원과 탄소원으로 사용한 배지의 C/N 비가 40, pH 6.0, 0.5%의 sodium acetate를 함유한 배지상에서 8일간 진탕배양하였을 시 이루어졌으며, 이 때의 GLA 생산량은 346 mg/l 이었다.

요 약

Mortierella isabellina IFO 8183을 이용하여 γ -linolenic acid를 생산하기 위한 최적 배양조건을 검토한 결과, 최적 탄소원과 최적 질소원은 각각 glucose와 NH_4NO_3 이었으며, 지질 생산배지내의 최적 C/N율은 40이었다. 또한, 최적 초기 pH와 배양 온도는 각각 6.0과 30°C이었으며, 균체내에 축적된 지질의 지방산 조성은 pH와 온도에 의해 변화되었다. Sodium acetate를 배양 초기에 0.5% (w/v) 첨가하였을 때 대조구에 비해 γ -linolenic acid 함량과

γ -linolenic acid 생성량이 각각 15.4%와 37.8% 증가되었다. 최적 조건하에서 8일간 진탕배양하였을 때 균체수율, 지질수율, 지질함량, γ -linolenic acid 함량 및 γ -linolenic acid 생성량은 각각 0.347 g/g, 0.18 g/g, 0.52 g/g, 60 mg/g 및 347 mg/l이었다.

문 헌

1. 日本ビタミン學會編:ビタミン學[1] 脂溶性ビタミン, 東京化學同人(1980)
2. Suzuki Osamu: γ -Linolenic acid. *Bio. Industry*, **3**, 493 (1986)
3. Hudson, B.J.F.: Evening primrose oil and seed. *J. Am. Oil. Soc.*, **61**, 540 (1984)
4. Akira Seto: New utilization of microbial lipid. *Bio Industry*, **3**, 284 (1986)
5. Herbert, R.A. and Kelth, S.M.: Microbiological production of γ -linolenic acid. *European Patent O*, **153**, 134 (1985)
6. Suzuki, O., Yokochi, T. and Yamashina, T.: Influence of cultural conditions on lipid compositions of two strains of *M. isabellina*. *J. Jpn. Oil. Chem. Soc.*, **31**, 921 (1982)
7. Suzuki, O. and Yokochi, T.: Influence of cultural conditions on sterol and squalene contents of two strains of *Mortierella isabellina*. *J. Jpn. Oil. Chem. Soc.*, **31**, 932 (1982)
8. Yokochi, T. and Suzuki, O.: Lipid composition of 33 strains of genus *Mortierella* by using glucose or decane as a carbon source. *J. Jpn. Oil. Chem. Soc.*, **35**, 929 (1986)
9. Yokochi, T. and Suzuki, O.: Influence of cultural conditions of lipid productivity of *Mortierella isabellina*. *J. Jpn. Oil. Chem. Soc.*, **36**, 413 (1987)
10. 이철균, 최치용: 미생물을 이용한 감마-리놀렌산의 생산에 관한 연구. *한국생물공학회지*, **1**, 69 (1987)
11. Shin, Y.C. and Shin, H.K.: Screening of γ -linolenic acid producing fungi. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **20**, 724 (1988)
12. Whitworth, O.A. and Ratledge, C.: Microorganisms as a potential source of oils and fats. *Proc. Biochem.*, **9**, 14 (1974)
13. Folch, J., Lee, M. and Sloane-Stanely, G.H.: A simple method for the isolation and purification of total

- lipid from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, **226**, 497 (1957)
14. Miller, G.L., William, R.B. Glanon, Z. and Burton, A.L.: Measurement of carboxy methylcellulose activity. *Anal. Biochem.*, **2**, 127 (1960)
15. A.O.A.C.: *Official Method of Analysis*, 14th ed., Association of Official Analytical Chemists, Virginia, p. 513 (1984)
16. Hoffmann, B. and Rhem, H.J.: Degradation and long-chain n-alkane by Mucorales. *European J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **5**, 189 (1978)
17. Ratledge, C.: Microbial oils and fats; An assement of their commercial potential. *Progress in industrial microbiology*, **16**, 119 (1982)
- 18) 鈴木 修: γ -리놀렌산의 微生物生産. 醱酵と工業, **43**, 1024 (1985)
- 19) Yoo, J.Y., Lee, H.C., Shin, D.H. and Suh, K.B.: Effect of cultural conditions on the growth and lipid accumulation of *Mucor Plumbeus*. *Kor. J. Appl. Microbiol. Bioeng.*, **10**, 87 (1982)

(1989년 7월 28일 접수)