

버섯 균사체 및 배양곡물의 혈당강하 효과

최희돈^{1*} · 석호문¹ · 박용곤¹ · 박영도² · 김정애³

¹한국식품연구원

²(주)미농바이오

³영남대학교

Hypoglycemic Effects of Basidiomycetes Mycelia and Cereals Fermented with Basidiomycetes

Hee-Don Choi^{1*}, Ho-Moon Seog¹, Yong-Kon Park¹, Young-Do Park², and Jung-Ae Kim³

¹Korea Food Research Institute, Seongnam 463-746, Korea

²MinongBio, Gyeonggi 445-300, Korea

³Yeungnam University, Gyeongbuk 712-749, Korea

Abstract

To develop basidiomycetes-fermented cereals with hypoglycemic property, inhibitory effects of basidiomycetes mycelia and basidiomycetes-fermented cereals on postprandial glucose were investigated. *In vitro* effect of basidiomycetes mycelia on retarding the membrane transport of glucose was compared with pectin. For basidiomycetes mycelia, $13.1 \pm 3.6 \sim 41.8 \pm 8.0\%$ of total glucose remained in inner solution of dialysis membrane after dialysis for 120 min, indicating that most of basidiomycetes mycelia might effectively retard membrane transport of glucose. Glucose tolerance of basidiomycetes mycelia and basidiomycetes-fermented cereals was tested on streptozotocin-induced diabetic rats administrated with maltose. Postprandial glucose levels of basidiomycetes mycelia, $389.4 \pm 43.8 \sim 426.3 \pm 49.4$ mg/dL, were considerably lower than that of control, 535.3 ± 78.6 mg/dL, at 30 minutes after maltose administration. Namely, basidiomycetes mycelia showed better postprandial glucose lowering effect than pectin. Brown rice and barley fermented with *Paecilomyces japonica* showed much lower postprandial glucose level than raw brown rice and barley, especially hypoglycemic effect of barley fermented with *Paecilomyces japonica* was significant.

Key words: hypoglycemic effect, mycelia, basidiomycetes, cereals

서 론

현대의학으로 당뇨병을 근원적으로 치료할 수 있는 방법은 아직 개발되지 않은 실정이며, 혈당을 정상적인 수준으로 유지되도록 하는 것이 최선의 치료방법으로 알려져 있다(1). 당뇨병의 치료방법으로는 식이요법, 운동요법과 함께 약물요법이 시도되고 있고 임상에서 사용되고 있는 약물로는 인슐린 제제, sulfonylurea 제제, biguanide 제제, troglitazone 제제 등이 있지만 저혈당, 유산증 등의 치명적인 부작용이 보고(2)되어 있다. 또다른 혈당관리 방법은 섭취한 식이 중의 탄수화물의 소화와 흡수를 지연시켜 식후 혈당 및 혈중 인슐린의 상승을 감소시킴으로써 당뇨병의 치료효과를 나타내는 것으로서, 이러한 물질로는 식이섬유(3,4)와 장내 소화효소인 α -glucosidase에 대한 억제제(5)가 있다. 최근에는 독성과 내성 등의 부작용이 우려되는 약물치료 이외에 민간요법이나 자연식품 등을 통해 혈당을 정상상태로 유지하고

자 하는 경향이 두드러져 천연물 및 식품원료로부터 혈당강하 소재를 개발하고자 하는 연구(6-8)가 활발히 진행되고 있다.

담자균류에 속하는 버섯은 생리활성 물질이나 기능성 성분에 대한 연구가 활발히 진행되어 항암성(9), 면역활성증강(10), 혈압강하(11), 혈전용해(12), 혈중 콜레스테롤 저하작용 등이 과학적으로 입증되었으며 일부 기능성 물질이 추출, 정제되어 의약품으로 상품화되기도 하였다. 이와 같은 효능을 나타내는 성분은 β -glucan, heteroglycan, galactan 등의 비소화성의 수용성 다당류로서 건물량으로 버섯의 약 10% 이상을 차지하고 있기 때문에 앞서 언급한 효능 이외에 혈당강하(13,14)에도 우수한 효능을 나타내는 것으로 보고되고 있다.

버섯 활용방법으로 자실체를 이용하거나 균사체를 액체 배양하여 유용성분을 분리, 정제하는 방법들이 주로 이용되는데, 자실체를 이용하는 경우 일부 버섯은 자실체로의 인공

*Corresponding author. E-mail: chdon@kfri.re.kr
Phone: 82-31-780-9068, Fax: 82-31-709-9876

재배가 불가능하거나 가격이 비싸기 때문에 산업적으로 대중화하기에 한계가 있으며, 균사체를 액체배양하는 경우 유용성분을 분리, 정제하는데 많은 비용이 소요되는 단점이 있다. 한편 버섯균을 곡물에 접종하여 배양하는 고체배양기술이 버섯 활용의 한 방법으로 이용되고 있는데 이는 유용성분을 얻기 위한 별도의 추출, 정제공정이 필요없으며, 배양물 전체를 일반 곡물처럼 손쉽게 섭취할 수 있기 때문에 소비자의 건강증진에 기여함은 물론 국내산 곡물의 부가가치를 증대시킬 수 있는 잇점이 있다.

따라서 본 연구에서는 혈당강화 효능을 갖는 버섯배양곡물을 개발하기 위하여 수종의 버섯균을 대상으로 식후 혈당상승 억제 효능을 탐색하여 이에 적합한 버섯균을 선발하였고 이를 현미와 보리에 고체배양하여 버섯배양곡물을 제조한 후 이들의 식후 혈당상승 억제 효능을 조사하였다.

재료 및 방법

균사체 배양

본 연구에 사용한 버섯 균사체는 생명공학연구원 유전자은행(KCTC)으로부터 분양받은 균주와 (주)미농바이오에서 보유하고 있는 균주로서 Table 1의 조건으로 한천 평판배지 상에서 일정시간 배양후 약 1 cm²의 크기로 절편을 떼어내 액체배지에 옮기고 회전 진탕 배양기에서 100 rpm으로 암조건 하에서 배양하였다. 균사체가 충분히 성장한 후 여과지로 감압여과하여 균사체와 배양액을 분리하였다.

균사체의 *in vitro*에서의 포도당 투과지연 효과

균사체의 *in vitro*에서의 포도당 투과지연 효과는 dialysis membrane(MWCO 6000~8000, Spectrum Medical Industries, Inc., USA)을 사용하여 투석막 내액의 포도당이 투석막 외액으로 빠져나오는 양에 균사체가 미치는 영향을 조사하였다(15). 투석막 내에 300 ppm 농도의 균사체와 1% 농도의 포도당을 용해시킨 혼합용액 10 mL를 넣은 다음 이를 500 mL 용량의 비이커에 담고 25°C의 shaking incubator에서 100 rpm의 속도로 shaking하면서 일정시간 간격(30~

120분)으로 투석막 외액에서 0.1 mL씩을 취하여 포도당 농도를 측정하였으며, 이를 투석막 내액에 잔존하는 포도당의 양으로 환산하였다. 포도당 농도는 glucose oxidase/oxidase를 이용한 assay kit(Megazyme Ltd., Ireland)를 사용하여 측정하였으며 이때 대조구로서 pectin(Sigma Chemical Co., USA)을 동일 농도로 사용하여 비교하였다. 3회 반복실험을 하였고 SAS(Statistical Analysis System)를 사용하여 각 처리구의 평균과 표준편차를 산출하고 분산분석을 행한 후 Duncan's multiple range test로 각 처리구 간의 유의성을 검증하였다.

버섯배양곡물 제조

식후 혈당상승 억제 효과 측정에 의해 우수한 효과를 나타낸 *Paecilomyces japonica*를 이용하여 버섯배양곡물을 제조하였다. 현미와 보리를 하룻밤 동안 물에 침지한 후 물을 빼고 비닐봉지에 수침한 곡물을 담고 autoclave로 고압 살균 처리하였으며, 액체배양한 *Paecilomyces japonica*를 고압 살균한 곡물에 접종한 후 28°C로 고정된 배양실에서 3주간 배양하였다.

균사체 및 배양곡물의 당부하 시험

균사체의 *in vivo*에서의 식후 혈당상승에 대한 억제 효과를 조사하기 위하여 streptozotocin(40 mg/kg b.w)으로 당뇨를 유발하여 혈당치가 250 mg/100 mL 이상인 쥐들만 선별하여 사용하였다. 16시간 절식시킨 당뇨쥐에 맥아당 용액(350 mg/mL)을 sonde로 2 mL 경구투여하고, 곧바로 균사체(300 mg/kg b.w)를 투여하였다. 맥아당 용액을 투여하기 전 그리고 투여 후 30분, 60분, 90분, 120분에 각각 혈액을 채취하여 혈당을 측정하였으며, 혈당 측정은 Precision Plus Electrodes(Medisense Contract Manufacturing Ltd., UK)를 사용하였다. 이때 균사체를 투여하지 않은 대조구와 pectin을 투여한 pectin 처리구를 함께 비교하였다. 한편 버섯배양 현미 및 보리의 식후 혈당상승 억제효과를 조사하기 위하여 맥아당 경구투여후 50 mg/mL 농도의 버섯배양 현미 및 보리 현탁액(300 mg/kg b.w)을 4 mL씩 강제투여한 후 시간

Table 1. Mycelial culture conditions of various basidiomycetes strains

Strain	KCTC No.	Medium	Temp. (°C)	pH
<i>Cordyceps ophioglossoides</i> (동충하초)	6473	PSA ¹⁾	23	5.6
<i>Cordyceps sinensis</i> (동충하초)	26137	MEA ²⁾	26	5.6
<i>Ganoderma applanatum</i> (영지버섯)	16800	MEA	24	5.8
<i>Ganoderma lucidum</i> (영지버섯)		MEA	24	5.8
<i>Hypocrea citrina</i> var. <i>citrina</i>	6863	MEA	21	6.2
<i>Lentinus edodes</i> (표고버섯)	6733	PDA ³⁾	26	5.6
<i>Leucogyrophana mollusca</i>	6768	CHA ⁴⁾	21	5.6
<i>Paecilomyces japonica</i> (동충하초)		MEA	23	6.0
<i>Phellinus baumi</i> (장수진흙버섯)		MEA	21	6.0
<i>Phellinus igniarius</i> (진흙버섯)		PDA	26	6.0
<i>Phellinus linteus</i> (진흙버섯)	6719	PDA	26	6.0
<i>Pleurotus ostreatus</i> (느타리버섯)		PDA	26	6.0

¹⁾PSA: potato sucrose agar. ²⁾MEA: malt extract agar. ³⁾PDA: potato dextrose agar. ⁴⁾CHA: cherry decoction agar.

경과에 따른 혈당을 측정하였으며, 이를 현미 및 보리 현탁액을 투여하였을 때와 비교하였다. 균사체 및 배양곡물의 당부하 시험을 위해 각 실험군당 6마리씩의 당뇨유발쥐를 사용하였다. SAS 프로그램을 사용하여 각 처리구의 평균과 표준편차를 산출하고 분산분석을 행한 후 Duncan's Multiple Range Test로 각 처리구 간의 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

균사체의 *in vitro*에서의 포도당 투과지연 효과

균사체 존재시 투석막 내의 포도당이 투석막 외액으로 투과되는 정도를 수용성 식이섬유인 pectin과 비교하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다. Pectin의 경우 120분 동안 투석을 실시하였을 때 투석막 내의 전체 포도당 중에서 8.5±3.5%의 포도당만 투석막 내액에 존재하고 나머지는 외액으로 전부 용출된 반면 균사체의 경우에는 전체 포도당 중 13.1±3.6~41.8±8.0%의 포도당이 투석막 내액에 잔존하는 것으로 나타나 시험한 대부분의 균사체가 pectin보다 포도당의 투석막 밖으로의 투과를 지연시키는 효과가 큼을 알 수 있었다. 특히 *Phellinus linteus*의 경우 전체 포도당 중 41.8±8.0%의 포도당이 투석막 내액에 잔존하는 것으로 나타나 그 효과가 가장 컸고, 이외에 *Cordyceps ophioglossoides*(28.9±5.3%), *Pleurotus ostreatus*(28.9±3.6%), *Paecilomyces japonica*(28.1±7.5%) 등이 *in vitro*에서의 포도당 투과지연 효과가 우수한 것으로 나타났다. Lee(16)는 개발한 당뇨환자용 재성형쌀의 *in vitro* 포도당 투과지연 효과를 측정하여 재성형쌀 내의 식이섬유 함량과 깊은 상관관계가 있다고 보고하였다. 포도당 투과지연 효과는 수용성 식이섬유의 함량과 용액의 점도와 직접적인 관련이 있는 것으로 알려져 있다(17). 이는 수용성 식이섬유가 점성이 높은 gel을 형성하여 포도당을 포집함으로써 포도당이 확산되는

것을 억제하기 때문인 것으로 보고된다. 한편 Kato 등은 무, 양배추, 대나무 등으로부터 분리한 불용성 식이섬유가 *in vitro*에서의 포도당의 투과 지연에 미치는 영향을 조사하여 불용성 식이섬유가 포도당의 투과속도를 크게 지연시키며, 이 현상은 수용성 식이섬유에서의 흡착작용에 의한 것이 아니라 불용성 식이섬유의 망목(network)에 일시적으로 포집되어 포도당의 이동이 방해받기 때문이라고 하였다(15,18).

균사체의 내당능

균사체의 *in vivo* 상에서의 식후 혈당 상승에 대한 억제 효과를 조사하기 위하여 *in vitro*에서의 포도당 투과지연 효과가 우수한 것으로 나타난 균사체들을 이용하여 당뇨쥐에 맥아당을 섭취시킨 후 경과시간별로 혈액을 채취하여 혈당을 측정하였으며, 이를 균사체를 투여하지 않은 대조구, pectin을 투여한 pectin 투여구와 비교하였다. Table 3에서 보는 바와 같이 대조구의 경우 맥아당 투여 전 275.8±17.6 mg/dL에서 30분 경과후 535.3±78.6 mg/dL로 급격히 증가하였다가 감소한 후 120분 경과하였을 때에도 389.7±43.6 mg/dL를 나타내어 혈당이 여전히 높은 값을 유지하였고, pectin 투여구의 경우에도 맥아당 투여 전 273.1±13.3 mg/dL에서 30분 경과시 451.4±59.8 mg/dL로 크게 증가하였다가 그후 감소하여 120분 경과시에는 287.0±38.5 mg/dL를 나타내었다. 한편 균사체 투여시에는 30분 경과시 389.4±43.8~426.3±49.4 mg/dL로 대조구와 pectin 투여구에 비해 상당히 낮은 값을 나타내어 버섯균사체의 식후 혈당상승 억제 효과가 우수한 것으로 나타났다. 특히 *Paecilomyces japonica*와 *Phellinus linteus*의 경우 30분 경과시 각각 389.4±43.8 mg/dL와 401.1±54.0 mg/dL로 기타 균사체에 비해서도 다소 낮은 식후 혈당값을 나타내었고 120분 경과시에는 각각 265.4±48.7 mg/dL와 286.6±48.5 mg/dL로 맥아당 투여전의 초기 혈당 값으로 낮아져 이들 균주가 식후

Table 2. Effect of basidiomycetes mycelia on retarding the membrane transport of glucose *in vitro*

Strain	Glucose in inner solution (%)		
	Dialysis time		
	0 min	30 min	120 min
<i>Cordyceps ophioglossoides</i> (동충하초속)	100	50.6±7.5 ^{1)ab2)}	28.9±5.3 ^b
<i>Cordyceps sinensis</i> (동충하초)	100	54.9±8.0 ^{ab}	26.1±6.6 ^b
<i>Ganoderma applanatum</i> (영지버섯)	100	55.6±8.3 ^{ab}	24.5±5.0 ^b
<i>Ganoderma lucidum</i> (영지버섯)	100	52.1±6.6 ^{ab}	13.4±4.5 ^c
<i>Hypocrea citrina</i> var. <i>citrina</i>	100	47.4±10.1 ^b	25.4±6.1 ^b
<i>Lentinus edodes</i> (표고버섯)	100	56.8±6.8 ^{ab}	27.0±4.6 ^b
<i>Leucogyrophana mollusca</i>	100	50.1±6.1 ^b	15.2±4.5 ^c
<i>Paecilomyces japonica</i> (동충하초)	100	52.1±9.8 ^{ab}	28.1±7.5 ^b
<i>Phellinus baumi</i> (장수진흙버섯)	100	55.0±7.0 ^{ab}	27.4±6.5 ^b
<i>Phellinus igniarius</i> (진흙버섯속)	100	45.4±9.6 ^b	13.1±3.6 ^c
<i>Phellinus linteus</i> (진흙버섯속)	100	66.5±9.3 ^a	41.8±8.0 ^a
<i>Pleurotus ostreatus</i> (느타리버섯)	100	52.8±7.6 ^{ab}	28.9±3.6 ^b
Pectin	100	40.7±11.0 ^b	8.5±3.5 ^c

¹⁾Each value represents mean±SD.

²⁾Values with the same letter in the same column are not significantly different (p<0.05).

Table 3. Effect of basidiomycetes mycelia on blood glucose level after maltose administration in diabetic rats

Strain	Time after maltose administration				
	0 min	30 min	60 min	90 min	120 min
<i>Cordyceps ophioglossoides</i> (동충하초)	275.3±10.8 ^{1)a2)}	414.6±36.4 ^b	387.6±50.0 ^{ab}	372.8±42.7 ^{ab}	347.4±41.3 ^{ab}
<i>Cordyceps sinensis</i> (동충하초)	280.2±19.6 ^a	417.2±54.6 ^b	360.9±41.8 ^b	368.2±50.2 ^{ab}	323.6±51.8 ^{abc}
<i>Ganoderma applanatum</i> (영지버섯)	276.1±12.2 ^a	426.3±49.4 ^b	386.5±53.3 ^{ab}	349.5±52.5 ^{ab}	351.5±49.1 ^{ab}
<i>Hypocrea citrina</i> var. <i>citrina</i>	274.9±18.5 ^a	415.1±47.0 ^b	353.8±43.2 ^b	367.0±47.6 ^{ab}	314.2±53.6 ^{abc}
<i>Paecilomyces japonica</i> (동충하초)	278.2±19.5 ^a	389.4±43.8 ^b	361.4±32.3 ^b	329.1±52.0 ^b	265.4±48.7 ^c
<i>Phellinus linteus</i> (진흙버섯)	275.3±18.8 ^a	401.1±54.0 ^b	355.4±42.1 ^b	305.0±40.5 ^b	286.6±48.5 ^{bc}
<i>Pleurotus ostreatus</i> (느타리버섯)	277.4±12.5 ^a	410.0±35.5 ^b	437.2±50.5 ^a	348.1±47.4 ^{ab}	357.0±48.5 ^{ab}
Control	275.8±17.6 ^a	535.3±78.6 ^a	435.2±54.3 ^a	414.8±55.2 ^a	389.7±43.6 ^a
Pectin	273.1±13.3 ^a	451.4±59.8 ^b	387.3±45.6 ^{ab}	323.6±40.1 ^b	287.0±38.5 ^{bc}

¹⁾Each value represents mean±SD.

²⁾Values with the same letter in the same column are not significantly different ($p < 0.05$).

혈당상승 억제 효과가 매우 우수함을 알 수 있었다.

버섯 균사체는 단백질, 탄수화물, 지방, 식이섬유, 회분 등의 주요 영양성분(19,20)과 GMP, AMP 등의 핵산 관련 물질, 향기성분 그리고 생리활성을 나타내는 terpenoids, steroids, 폴리페놀 등의 미량성분(21)으로 구성되어 있으며, 특히 식이섬유의 경우 10~20%로 함량이 매우 높아 식후 혈당 상승을 크게 억제할 것으로 기대된다. 자실체와 균사체의 당뇨병에 대한 혈당강하 효과가 많이 보고되어 있고 이는 주로 이들에 함유된 다당 때문인 것으로 알려져 있다(22,23). 따라서 본 연구에서 확인된 *Paecilomyces japonica* 등의 버섯 균사체의 식후 혈당상승 억제효과는 균사체에 다량 함유된 식이섬유가 관련이 있을 것으로 추정된다. 당뇨병에서의 식이섬유 역할은 식후 혈당상승을 억제하고 수용성, 불용성 식이섬유 모두 내당능 증진에 기여한다(24,25). 수용성 식이섬유는 소장내 내용물의 점도를 높여 포도당의 혈액으로의 방출을 지연시키고 또한 효소와 기질에 흡착하여 효소작용 속도를 느리게 하며, 또한 내용물의 점도를 증가시켜 gastric emptying time과 intestinal transit time을 길게 한다(26). 그리고 불용성 식이섬유는 효소의 탄수화물 기질로의 접근을 방해하여 탄수화물의 소화를 느리게 한다(24). 식이섬유 이외에 α -glucosidase 저해물질도 식이 중의 탄수화물의 소화와 흡수를 지연시켜 식후 혈당 상승을 감소시키는 작용을 가지며, 대표적인 물질로는 acarbose, miglitol 등의 당, 당알콜 등(27)이 있고, catechin, quercetin 등의 폴리페놀 화합물(28)도 α -glucosidase 저해활성을 갖는 것으로 보고되어 있다. Kim과 Nho(29)가 영지버섯(*Ganoderma lucidum*)으로부터 α -glucosidase 저해물질을 분리하여 이 물질이 alkaloid를 함유한 당임을 확인하였고, Kim 등(30)도 상황버섯(*Phellinus linteus*)으로부터 α -glucosidase 저해물질을 분리하였다. 따라서 본 연구에서 사용한 버섯 균사체에 함유된 당, 폴리페놀 등의 미량성분들이 α -glucosidase에 대한 저해활성을 나타내어 식후 혈당상승 억제 효과를 나타냈을 것으로 추정된다.

버섯배양곡물의 식후 혈당상승 억제 효과

당뇨병을 대상으로 버섯배양곡물을 강제투여한 후 경과

시간별로 혈당변화를 측정된 결과는 Fig. 1과 같다. 현미의 경우 경구투여후 시간이 경과(30분~120분)함에 따라 경구투여 전에 비해 각각 45.2 ± 8.7 , 57.5 ± 11.3 , 83.2 ± 11.9 , 52.0 ± 7.2 mg/dL의 혈당이 증가하는 것으로 나타난 반면 *Paecilomyces japonica*를 배양한 버섯배양현미는 각각 53.5 ± 14.1 , 73.7 ± 9.3 , 49.2 ± 11.4 , 43.3 ± 6.9 mg/dL의 혈당이 증가하는 것으로 나타나 버섯배양현미가 현미에 비해 식후 혈당상승 증가가 낮게 나타남을 알 수 있었다. 보리의 경우에는 경구투여후 시간이 경과함에 따라 각각 50.8 ± 11.9 , 64.6 ± 11.1 , 52.4 ± 11.3 , 43.8 ± 8.7 mg/dL의 혈당이 증가하는 것으로 나타났으며, *Paecilomyces japonica*를 배양한 버섯배양보리의 경우에는 각각 16.5 ± 9.0 , 31.8 ± 15.2 , 47.9 ± 12.8 , 20.5 ± 9.3 mg/dL의 혈당이 증가하여 보리에 비해서도 식후 혈당상승이 크게 낮은 것으로 나타났다.

버섯배양곡물의 식후 혈당상승 억제 효과는 버섯 균사체의 식후 혈당상승 억제 효과보다는 훨씬 복합적인 요인이 작용하였을 것으로 판단된다. Choi 등(31)은 *Paecilomyces*

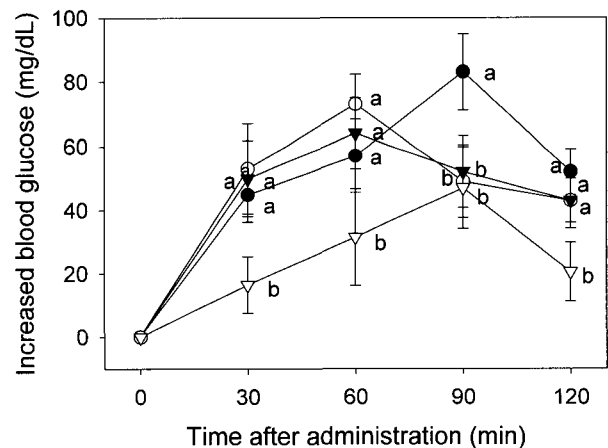


Fig. 1. Effect of cereals fermented with *Paecilomyces japonica* on glycemic response in diabetic rats.

Each value represents mean±SD. Values with the same letter in the same time are not significantly different ($p < 0.05$).

●— Brown rice, ○— Brown rice fermented with *P. japonica*, ▼— Barley, ▽— Barley fermented with *P. japonica*.

*japonica*의 3주 배양에 의해 현미의 식이섬유 함량이 3.33%에서 3.94%로 증가한 것으로 보고하였는데, 이와 같이 증가된 식이섬유 함량과 균사체에 함유된 당 및 폴리페놀 등이 버섯배양 곡물의 식후 혈당상승 억제 효과에 기여하였을 것으로 추정된다. 또한 곡물을 이용한 고체배양시 미생물이 다양한 효소를 생성하는데 β -glucosidase는 발효중 폴리페놀에 작용하여 aglycone과 당으로 분해하여 발효제품의 기능성을 증진시키고 생성된 aglycone은 소장점막 α -glucosidase를 저해시켜 항당뇨 효과를 나타낸다고 보고(32,33)되어 있다. McCue 등(34)도 표고버섯(*Lentinus edodes*)을 이용한 탈지대부분의 고체배양이 폴리페놀의 분해에 매우 효과적이라고 보고하였다. 따라서 본 연구에서도 현미와 보리의 고체배양시 *Paecilomyces japonica*에 의해 생성된 β -glucosidase에 의해 생성된 aglycone이 α -glucosidase를 저해하여 식후 혈당상승을 억제하였을 것으로 추정된다. 그리고 발효시 생성되는 가수분해효소의 작용에 의해 전분, 단백질 뿐만 아니라 세포벽 성분 등의 고분자 물질들이 저분자 물질로 가수분해되는데, 본 연구에서도 기질로 이용한 현미와 보리의 고분자 물질이 *Paecilomyces japonica*의 배양에 의해 저분자화되어 acarbose와 유사한 기능을 하였을 가능성도 있는 것으로 추정된다.

본 연구에서의 *Paecilomyces japonica*를 배양한 버섯배양곡물의 경우 일반 곡물에 비해 식후 혈당상승의 억제에 매우 효과적이었기 때문에 당뇨병환자를 위한 식이에 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

요 약

혈당강하 효능을 갖는 버섯배양곡물을 개발하기 위하여 수종의 버섯균과 버섯배양곡물의 식후 혈당상승 억제 효과를 조사하였다. 균사체의 포도당 투과지연 효과를 측정할 결과 120분 동안 투석후 전체 포도당 중 $13.1 \pm 3.6 \sim 41.8 \pm 8.0\%$ 의 포도당이 투석막 내액에 잔존하는 것으로 나타나 대부분의 균사체가 pectin보다 포도당의 투석막 밖으로의 투과를 지연시키는 효과가 컸다. 당뇨쥐에 균사체를 투여한 후 혈당변화를 조사한 결과 맥아당 섭취후 30분 경과시 $389.4 \pm 43.8 \sim 426.3 \pm 49.4$ mg/dL로 대조구의 535.3 ± 78.6 mg/dL에 비해 상당히 낮은 값을 나타내어 버섯균사체의 식후 혈당상승 억제 효과가 우수한 것으로 나타났으며, 특히 *Phellinus linteus*와 *Paecilomyces japonica*의 효과가 우수하였다. *Paecilomyces japonica*를 배양한 버섯배양곡물을 당뇨쥐에 투여한 후 혈당변화를 조사한 결과 버섯 균사를 배양하지 않은 곡물에 비해 현저히 낮은 식후 혈당상승을 나타내어 버섯배양곡물이 우수한 혈당강하 효능을 나타낼 수 있었고 특히 버섯배양 보리의 효과가 큰 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 농림기술관리센터의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

문 헌

1. Strowig S, Raskin P. 1992. Glycemic control and diabetic complication. *Diabetes Care* 15: 1126-1140.
2. Adverse events and their association with treatment regimens in the diabetes control and complications trial. 1995. *Diabetes Care* 18: 1415-1427.
3. Torsdottir I, Alpsten M, Andersson H, Einasson S. 1989. Dietary guar gum effects on postprandial blood glucose, insulin and hydroxyproline in humans. *J Nutr* 119: 1925-1931.
4. Blackburn NA, Redfern JS, Jaris H, Holgate AM, Hanning I, Scarpello JHB, Johnson IT, Read NW. 1984. The mechanism of action of guar gum in improving glucose tolerance in man. *Clin Sci* 66: 329-336.
5. Puls HP, Krause L, Muller H, Schutt R, Thomas G. 1984. Inhibitors of the rate of carbohydrate and lipid absorption by the intestine. *Int J Obesity* 8: 181-190.
6. Lee YR, Nam SH, Kang MY. 2006. Hypoglycemic effect of the giant embryonic rice supplementation on streptozotocin-induced diabetic rats. *Korean J Food Sci Technol* 38: 427-431.
7. Kim YY, Cho RW, Chung SH, Koo SJ. 1999. Anti-hyperglycemic effect of *Cortex Mori radidis* in db/db mice. *Korean J Food Sci Technol* 31: 1057-1064.
8. Ortiz-Andrade RR, Garcia-Jimenez S, Castillo-Espana P, Ramirez-Avila G, Villalobos-Molina R, Estrada-Soto S. 2007. α -Glucosidase inhibitory activity of the methanolic extract from *Tournefortia hartwegiana*: an anti-hyperglycemic agent. *J Ethnopharmacol* 109: 48-53.
9. Chihara G, Hamuro H, Maeda Y, Arai Y, Fukuoka K. 1970. Fractionation and purification of the polysaccharides with marked antitumor activity, especially lentinan from *Lentinus edodes*. *Cancer Res* 30: 2776-2781.
10. Nagata J, Higashiesato Y, Maeda G, Chinen I, Saito M, Iwabuchi K, Onoe K. 2001. Effects of water-soluble hemicellulose from soybean hull on serum antibody levels and activation of macrophages in rats. *J Agric Food Chem* 49: 4965-4970.
11. Watanabe T, Yamada T, Tanaka H, Jiang S, Mazumder TK, Nagai S, Tsuji K. 2002. Antihypertensive effect of gamma-aminobutyric acid-enriched *Agaricus blazei* on spontaneously hypertensive rats. *J Jpn Soc Food Sci Technol* 49: 166-173.
12. Sumi H, Yatagai C, Matsubara K. 1996. Anti-platelet aggregation and plasma fibrinolysis accelerating activities in mushroom extracts (*Pleurotus ostreatus* and *Lentinus edodes*). *J Jpn Soc Food Sci Technol* 43: 318-321.
13. Yuan Z, He P, Cui J, Takeuchi H. 1998. Hypoglycemic effect of water-soluble polysaccharide from *Auricularia-judae* Quel. on genetically diabetic KK-A mice. *Biosci Biotechnol Biochem* 62: 1898-1903.
14. Kiho T, Sobue S, Ukai S. 1994. Structural features and hypoglycemic activities of two polysaccharides from a hot-water extract of *Agrocybe cylindracea*. *Carbohydr Res* 251: 81-87.
15. Kato Y. 1993. Influence of water-insoluble dietary fiber on *in vitro* glucose diffusion speed. *J Jpn Soc Nutr Food Sci* 46: 351-355.

16. Lee YT. 2003. Preparation and hypoglycemic effect of re-constituted grain added with selected medicinal herb extract. *Korean J Food Sci Technol* 35: 527-531.
17. Rainbird AL, Low AG, Zebrowska T. 1984. Effect of guar gum on glucose and water absorption from isolated loops of jejunum in conscious growing pigs. *Brit J Nutr* 52: 489-498.
18. Kato Y, Akiyama M. 1993. Gel-filtration chromatography of dextrans and maltodextrins on a water-insoluble dietary fiber column. *J Jpn Soc Nutr Food Sci* 46: 161-166.
19. Huang SJ, Tsai SY, Lee YL, Mau JL. 2006. Nonvolatile taste components of fruit bodies and mycelia of *Cordyceps militaris*. *Lebensm Wiss Technol* 39: 577-583.
20. Tsai SY, Weng CC, Huang SJ, Chen CC, Mau JL. 2006. Nonvolatile taste components of *Grifola frondosa*, *Morchella esculenta* and *Termitomyces albuminosus* mycelia. *Lebensm Wiss Technol* 39: 1066-1071.
21. Mizuno T. 1995. Bioactive biomolecules of mushrooms: Food function and medicinal effect of mushroom fungi. *Food Rev Int* 11: 7-21.
22. Kiho T, Ookubo K, Usui S, Ukai S, Hirano K. 1999. Structural features and hypoglycemic activity of a polysaccharide (CS-F10) from the cultured mycelium of *Cordyceps sinensis*. *Biol Pharm Bull* 22: 966-970.
23. Hwang HJ, Kim SW, Lim JM, Joo JH, Kim HO, Kim HM, Yun JW. 2005. Hypoglycemic effects of crude exopolysaccharides produced by a medicinal mushroom *Phellinus baumii* in streptozotocin-induced diabetic rats. *Life Sci* 76: 3069-3080.
24. Anderson JW. 1985. Physiological and metabolic effects of dietary fiber. *Fed Proc* 44: 2902-2906.
25. Wolever TMS. 1990. Relationship between dietary fiber content and composition in foods and the glycemic index. *Am J Clin Nutr* 51: 72-75.
26. Battilana P, Ornstein K, Minehira K, Schwarz JM, Acheson K, Schneider P, Burri J, Jequier E, Tappy L. 2001. Mechanisms of action of β -glucan in postprandial glucose metabolism in healthy men. *Eur J Clin Nutr* 55: 327-333.
27. Delorme S, Chiasson JL. 2005. Acarbose in the prevention of cardiovascular disease in subjects with impaired glucose tolerance and type 2 diabetes mellitus. *Current Opinion Pharmacol* 5: 184-189.
28. Honda M, Hara Y. 1993. Inhibition of rat small intestinal sucrase and α -glucosidase activities by tea polyphenols. *Biosci Biotech Biochem* 57: 123-128.
29. Kim SD, Nho HJ. 2004. Isolation and characterization of α -glucosidase inhibitor from the Fungus *Ganoderma lucidum*. *J Microbiol* 42: 223-227.
30. Kim DH, Choi HJ, Bae EA, Han MJ, Park SY. 1998. Effect of artificially cultured *Phellinus linteus* on harmful intestinal bacterial enzymes and rat intestinal α -glucosidases. *J Food Hygiene Safety* 13: 20-23.
31. Choi HD, Park YK, Choi IW, Kim HM, Kim SR. 2003. Development of basidiomycetes-fermented cereals with hypoglycemic and anti-dementia property and their products. KFRI report GA0398-0255.
32. Lee DS, Lee SH. 2001. Genistein, a soy isoflavone, is a potent α -glucosidase inhibitor. *FEBS Letters* 50: 84-86.
33. Randhir R, Shetty K. 2007. Mung beans processed by solid-state bioconversion improves phenolic content and functionality relevant for diabetes and ulcer management. *Inovative Food Sci Emerging Technol* 8: 197-207.
34. McCue P, Horii A, Shetty K. 2004. Mobilization of phenolic antioxidants from defatted soybean powders by *Lentinus edodes* during solid-state bioprocessing is associated with enhanced production of laccase. *Inovative Food Sci Emerging Technol* 5: 385-392.

(2007년 6월 29일 접수; 2007년 9월 15일 채택)