양어사료 내 면실박(cottonseed meal)의 이용 가능성

이경준 교수
제주대학교 해양과학부
Tel) 064-754-3423
E-mail) kjlee@cheju.ac.kr
Homepage) http://ffnl.cheju.ac.kr

Ⅰ. 서 론

어분(fish meal)은 영양적인 측면에서 고단백질원이며, 아주 뛰어난 아미노산 균형과 유인성(palatability)으로 오랫동안 양어사료의 주 단백질원으로 사용되어져 왔다 (Lee and Bai, 1997; Lee et al., 2001). 그러나 어분을 만드는 여러 잡어들의 어획생산량이 남획과 해양 환경문제로 인해 급격히 줄어들면서 생산량이 일정치 않을 뿐만 아니라, 가격도 계속적으로 치솟아, 어분은 양어사료업계에서 가장 많은 투자를 하고 있는 사료원이다 (Pauly et al., 2000). 이러한 이유로 수많은 양어사료 영양학자들은 값비싼 어분을 대체할 수 있는 값싸고 질 좋은 단백질원을 찾기 위해 많은 시간과 노력을 기울이고 있다 (Hardy, 1999; Lee et al., 2001).

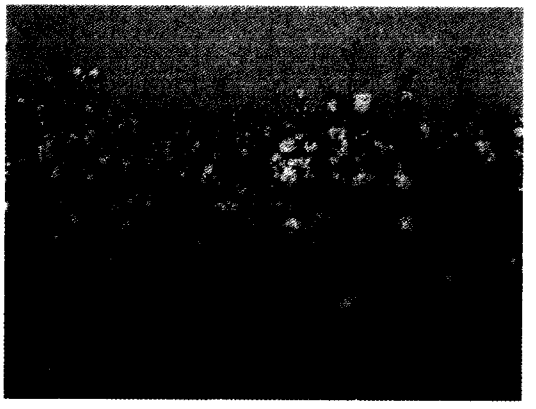

그림 1. 미국 텍사스주의 한 면실나무 (cotton plants) 농장.

현재까지 여러 종류의 어분 대체원들이 보고되었는데, 식물성 단백질원들 중 으뜸인 것은 대두박이다. 그러나 최근 들어 대두박처럼 우수하고 많은 영양소들을 포함하고 있는 면실박 (cottonseed meal)에 몇몇 어류영양학자들이 관심을 가지고 있으며, 양어사료에서 어분의 일부를 대체할 수 있는 식물성 단백질 중의 하나로 보고되고 있다. 면실박이(그림 1) 축산사료에 있어서는 여러 형태로 많은 양이 사용되고 있지만, 어류사료에서는 대개 담수어류에서 제한된 양으로 사용되어왔다 (Robinson et al., 1994; Lee and Dabrowski, 2002). 그러나 그것마저도 매우 드물고, 충분하지 못한 연구로 인해 양어사료에서 면실박의 이용가능성 특히, 고시폴 (gossypol)과 polyphenol에 관해서는 잘 알려져 있지 않다. 국내에서 드물게도 해산어류인 조피볼락을 대상으로 이용가능성에

대해 보고된 바가 있었지만, 만족할 만한 결과는 보이지 않았다. 그 이유는 한국에서 축산 가축용으로 사용되고 있는 섬유질 함량 (약 20%)이 매우 높고, 조단백질 (약 35% 이하) 함량이 낮은 면실박 (가축용 중국 및 호주산)을 사용하였기 때문이며, 면실박내의 독성물질인 고시폴 (gossypol)에 대한 연구가 부족하였기 때문인 것으로 판단된다. 본 저자는 연어과 어류인 무지개송어를 대상으로 약 5 년간 여러 종류의 면실박으로 실험을 하여 아주 만족할 만한 결과를 얻었다. 이러한 결과를 얻을 수 있었던 것은 조단백질 함량이 42~46% 정도이고, 섬유질 함량이 12% 미만인 질 좋은 면실박 (미국산 혹은 중국산) 원료를 사용할 수 있었고 면실박 사용에서 가장 문제시 되고 있는 고시폴에 대한 충분한 연구가 있었기 때문이었다.

현재 세계 선진국에서는 면실박에 관한 새로운 형태의 연구에 박차를 가함으로써 값싸고 질 좋은 식물성 단백질원의 하나로 사용범위와 사료내 첨가함량을 높이려는 노력을 하고 있다. 특히, 면실박은 생산량이 대두박과 채종박 (rapeseed meal) 다음으로 세계 3위에 이르고, 미국 내 생산량에 있어서는 대두박 다음으로 2위를 차지하는 값싼 식물성 단백질원이다 (NCPA, 2001). 따라서 면실박을 양어사료에 적절하게 잘 사용한다면 경제적 기대효과는 엄청나다고 할 수 있겠는데, 이유는 대두박 가격이 어분 가격의 30%도 채 되지 않고, 또한 질 좋은 면실박의 가격이 대두박 가격의 70% 정도 밖에 되지 않기 때문이다. 면실박은 대두박과 같이 현대사회의 큰 문제점인 성인병의 예방에 효과가 있는 polyphenol계 화합물을 다량 함유하고 있어서 대두박과 같이 양어사료에서 이용가능성이 클 것으로 예견된다. 따라서 여기서는 면실박에 관한 저자의 여러 기초연구와 자료를 바탕으로 양어사료에 있어서의 면실박에 대한 이용가능성을 제시해 보고자 한다.

그림 2. 면실박 (cottonseed meal)과 whole cottonseeds.

II. 면실박은 무엇인가?

면실박 (그림 2)이란 면을 뽑고 남은 면 씨앗으로부터 식용 또는 다른 목적으로 기름을 짜고 남은 것을 분쇄 가공함에 따라 생겨나는 유용한 부산물이다 (NCPA, 2001). 무엇보다도 면실박은 단백질 함량이 높아 동물사료로써의 가치가 매우 크며, 오랫동안 축산 가축용 먹이로 사용되어져 왔다. 영양적 가치가 1894년 노스캐롤라이나 농업연구소의 F. E. Emery라는 학자에 의해 처음으로 소개되고, "면실박은 단백질 함량이 매우 풍부해서 사료 내 단백질 함량을 보충하기에 가장 좋은 사료원들 중의 하나"라고 언급되면서 소와 양에서 가장 일반적으로 사용되는 표준사료 중의 하나로 자리 잡아 왔다. 또한 1800년대 말에 면실나무 씨앗에서 기름을 기계적으로 짜내는 기술이 발전되고 면실박의 대량생산이 가능함에 따라, 그 이후 오랫동안 동물사료에 상업적으로 이용되어져 왔다. 최근 들어서는 가공방법이 혁신

적으로 개선되면서 여러 단계의 단백질 함량과 지방을 포함하는 다양한 면실박들이 생산되고 있는 실정이다.

현재 많이 이용되고 있는 면실나무 가공생산물 종류에는 면씨피박 (cottonseed hull), Whole cottonseed (그림 2), 면실박 등이 있다. 면씨피박은 면 씨앗 껍질만을 가공하여 생산되는데, 다량의 섬유질을 포함하고 있어서 주로 반추동물에서 건초와 같은 조사료로 많이 이용되고 있으며, 단위동물 (monogastric animal)에서는 섬유질원으로 조금씩 사용되기도 한다. Whole cottonseed는 지방과 단백질 함량이 높아 반추동물의 에너지 사료원으로 이용되고 있다 (Colin-Negrete et al., 2000). 그러나 면실박은 면씨피박이나 whole cottonseed보다 그 생산량이 훨씬 많고 단백질 함량이 가장 높기 때문에 (표 1) 가축의 반추동물에서 뿐만 아니라 단위동물 사료에도 사용되어져 왔으며, 이용가치가 매우 높다고 할 수 있다.

Ⅲ. 어류에서의 면실박 이용성

어류에서의 면실박에 관한 연구 역사는 육상 가축동물에 비해 매우 짧다고 할 수 있다. 1980년대 이전 서너 편의 연구를 제외하면, 어류에서 면실박에 관한 연구는 실제로 1980년대에 들어서야 겨우 시작되었다고 볼 수 있다. 어류에서 면실박에 관한 연구도 모두 담수어를 대상으로 이루어졌으며, 해산어에서의 연구결과는 국내의 국립수산과학원에서 이루진 몇 편의 연구밖에는 없었다. 특히, 켄터키 대학의 Robinson박사가 이끄는 연구팀이 챠넬메기와 틸라피아를 대상으로 많은 연구를 하였고, 저자가 소속되었던 오하이오 주립대학의 K. Dabrowski 박사 연구팀에 의해 연어과 어류에서 최근 많은 결과가 보고되었는데 지금까지의 연구결과를 요약해 보면 다음과 같다.

챠넬메기에서는 사료 내 면실박의 첨가함량이

표 1. 면실박 (Solvent-extracted)의 화학성분표

일반성분 (%)		무기물 (%)		필수아미노산 (%)	
Dry matter	91.0	Calcium	0.17	Arginine	5.00
Crude protein	45.2	Magnesium	0.44	Histidine	1.21
Crude fiber	12.7	Phosphorus	1.08	Isoleucine	1.46
Ether extract	1.7	Potassium	1.28	Leucine	2.60
Ash	7.1	Sodium	0.04	Lysine	1.87
		Sulfur	0.28	Methionine	0.58
		Copper	18.0	Phenylalanine	2.44
		Iron	99.6	Threonine	1.46
		Manganese	22.9	Tryptophan	0.55
		Zinc	63.6	Valine	2.04

20% 까지는 대체적으로 성장에 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다 (Robinson and Brent, 1989). 또한, 면실박이 챠넬메기 사료에서 대두박을 완전히 대체할 수 있음을 보였다. 즉, 사료 내에 필수아미노산 중의 하나인 lysine만 충족된다면 사료 내 대두박을 완전히 대체할 수 있으며, 사료 내 최대 60%까지 사용할 수 있음이 수조에서와 가두리 실험에서 보고되었다 (Robinson, 1991; Robinson and Li, 1994). 챠넬메기를 대상으로 한 장기간의 실험에서는 사료 내 약 40% 정도의 면실박 사용이 성장을 약간 지연시킬 수 있다고 보고하였지만, 번식과 관련하여서는 영향을 받지 않았다고 보고하였다 (Robinson and Tiersch, 1995). 즉, 성장이 중요한 요건이 아닌 친어의 사육에서는 면실박이 사용되어 질 수 있다는 것을 의미하는 연구였다. 왜냐하면, 면실박 내에 다량 존재하는 고시폴이 특히, 생식능력에 가장 크게 영향을 끼친다는 것이 육상동물에서는 이미 잘 알려진 사실이기 때문이다.

틸라피아의 연구에서는 사료 내 어분을 면실박으로 완전 대체시켰을 경우에도 성장에 아무런 지장을 주지 않았다고 *Sarotherodon mossamnicus*를 대상으로 한 연구에서 보고되었다 (Jackson et al., 1982). 그러나 *Oreochromis niloticus*를 대상으로 한 실험에서는 어분에 비해 그 성장이 유의적으로 낮았음이 보고되었다 (Ofojekwu and Ejike,

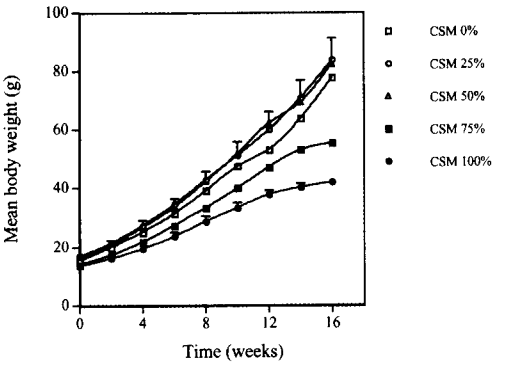

그림 3. 틸라피아에 있어서의 면실박 이용 효과. 성장에 있어서 50% 까지 어분단백질을 대체 할 수 있음을 보여줌 (Mbahinzierki et al., 2001).

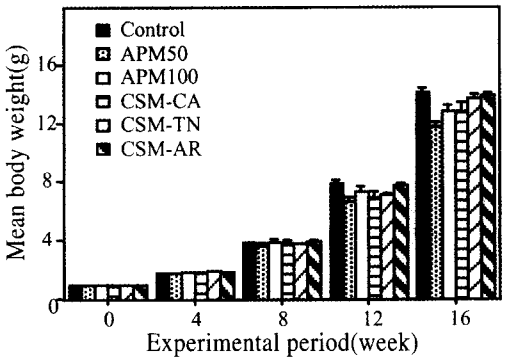

그림 4. 무지개송어 치어에 있어서의 면실박 이용 효과. 성장에 있어서 여러 종류의 면실박 (CSM) 중 특정 면실박 (CSM-TN)이 다른 종류의 면실박과 동물성 단백질원보다 이용효율이 우수함을 보여줌 (Lee et al., 2001).

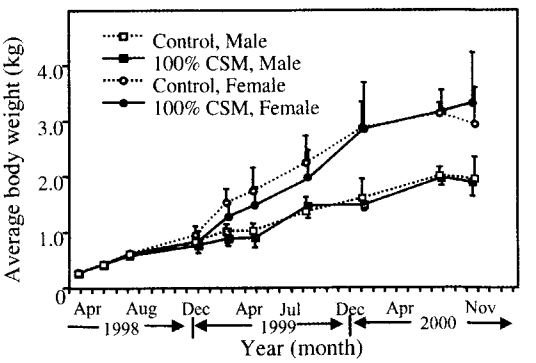

그림 5. 무지개송어 친어에 있어서의 면실박 이용 효과 (3년간 실험). 성장에 있어서 어분단백질을 100% 까지 대체가능함을 보여줌 (미발표).

1984). 틸라피아에서 나타난 연구 결과들의 차이로 인해, 저자가 속했던 오하이오 주립대학에서도 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*)를 대상으로 실험을 하였는데 (그림 3) 사료 내 어분의 50%까지 (사료 내 30% 까지 면실박 사용)는 면실박으로 대체시킬 수 있음을 보고하였다 (Mbahinzierki et al., 2001).

연어과 어류 중 왕연어 (chinook salmon)와 은연어 (coho salmon)를 대상으로 한 실험들에서는 사료 내 사용 가능한 면실박의 첨가 범위가 각각 34%와 22% 로 보고되었다 (Fowler, 1980). 브라운 송어 (brown trout)와 무지개송어 (rainbow trout)를 대상으로 한 실험들에서도 각각 약 30%까지는 성장에 아무런 지장이 없었다는 보고가 있었다 (Wolf, 1952; Herman, 1970). 오하이오 주립대학에서 행한 무지개송어 치어를 대상으로 한 연구 (그림 4)와 약 3년간의 장기간 사료공급 연구 (그림 5)에서도 사료 내 면실박의 첨가함량이 30% 사료 내 어분단백질의 50%까지 성장과 생식능력에 아무런 문제가 없었다는 것이 관찰되었다 (미발표).

Ⅳ. 면실박 사용의 문제점

현재까지 보고된 육상 단위동물들에서의 많은 연구들을 보면, 면실박을 사용하는 가장 큰 문제점으로 면 씨앗 (cottonseed)의 색소 분비선에 다량 존재하고 있는 고시폴 (gossypol)이라는 항영양 인자를 들고 있다 (그림 6). 고시폴은 폴리페놀계 화합물로써 섭취되었을 경우 독성효과가 있는 것으로 오래전부터 보고되었다. 따라서 위 (stomach) 내의 미생물들에 의해 고시폴의 독성이 매우 적게 나타나는 반추동물의 사료에만 주로 사용되어왔다 (Risco et al., 1992; NCPA, 2001).

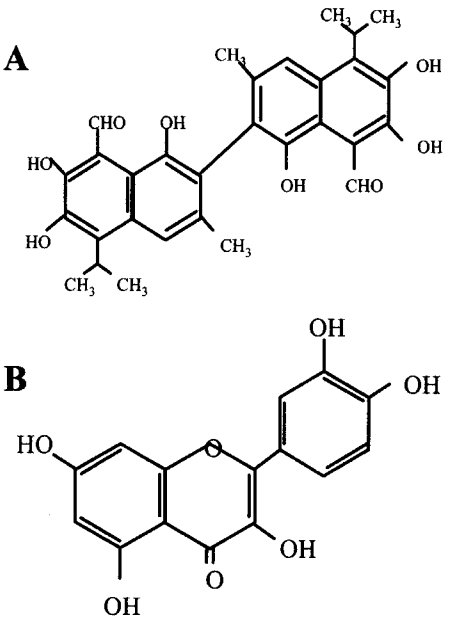

그림 6. 면실박 내의 항영양 인자인 고시폴 (gossypol, A)과 항산화 물질인 쿼세틴 (quercetin, B)의 화학 구조. 면실박에서의 두 가지 양면성을 나타내는 폴리페놀계 화합물들.

고시폴의 독성은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째, 체내에서 고시폴의 직접적인 생리화학적인 독성영향과, 둘째, 간접적인 영양학적 문제점으로 나뉘어 진다. 어류에서는 첫 번째의 직접적인 생리화학적 독성영향은 그리 크지 않는 것으로 여러 연구결과들에서 나타났으며, 계속적인 연구가 이루어지고 있는 실정이다. 즉, 어류에서는 육상동물에서처럼 독성이 강하게 나타나지 않을 수 있다는 여러 연구결과와 가설이 있었다. 두 번째는 고시폴이 체내에서 필수아미노산의 하나인 lysine과 결합하여 체내 lysine의 흡수를 방해함으로서 나타나는 간접적인 문제점이다. 따라서 이러한 두 번째의 문제점을 해결하기 위해 사료

내에 충분한 양의 lysine을 첨가하거나, 철 (Iron)의 함량을 높여 고시폴의 간접적 독성을 무마시키는 것이다. 이 두 번째 문제점에 대해서도 여러 연구가 이루어지고 있으며 현재 많은 부분 해결되어지고 있는 실정이다. 하지만 이러한 첫 번째와 두 번째의 문제점을 아직 완전히 해결하지는 못하였고, 여전히 수산생물의 하나인 어류에서도 약간의 문제점이 보고되었기 때문이다(Dabrowski et al., 2001).

V. 면실박 사용 이점들에 관한 가설

최근 들어 서양에서 가장 큰 문제점이자 가장 높은 사망률의 원인으로 보고되고 있는 성인병 관련 심혈관 질환이 국내에서도 식생활의 서구화로 인해 날로 급증하고 있다. 이러한 이유로 사람들은 운동과 더불어 성인병 예방에 효과가 있는 식품 섭취에 많은 투자와 노력을 아끼지 않고 있다. 세계 최고 건강 장수국가인 일본의 역학조사에서 보듯이, 수산물 섭취가 건강에 얼마나 중요한 것인지를 극명하게 보여주고 있다. 또한 일본 사람들의 대두(콩) 섭취는 세계 1위이다. 이처럼 식품 섭취가 성인병 관련 질병의 일차적인 예방에 효과가 있다는 것은 누구나 다 아는 사실이다.

지난 10년간 미국과 유럽의 영양학회에서는 인간뿐만 아니라 동물을 이용한 폴리페놀(polyphenol)계 플라보노이드(Flavonoids)와 아이소플라보노이드(Isoflavonoids)의 체내 흡수와 이용률에 관한 연구결과들이 봇물처럼 출판되고 있다. 즉, 폴리페놀계 플라보노이드 천연화합물은 체내에 흡수될 경우 항산화 효과를 보임으로서 항암효과, 노화방지, DNA 손상방지, 면역효과 및 최근의 큰 관심사가 되고 있는 혈중 콜레스테롤과 LDL (low density lipoprotein)를 저하시킨다는 보고들이 있었다 (Nwoha and Aire, 1995; Radcliffe et al., 2001; Le Marchand, 2002). 그리고 이를 비롯한 심장병 관련 질환의 일차적인 예방에 탁월한 효과가 있다는 사실이 포유동물을 대상으로 한 수많은 논문들을 통해 알려지고 있다 (Formica and Regelson, 1995; Hertog and Hollman, 1996; Middleton et al., 2000). 하지만 수산생물 체내에서의 폴리페놀계 화합물들의 소화나 이용 및 흡수에 대해 보고된 연구는 전무후무한 실정이다.

대두박내의 폴리페놀계 화합물들은 생체 내에서 생리활성이나 항산화의 효과가 뛰어나다는 것이 이미 잘 알려져 있다. 면실박에도 많은 양의 천연 항산화제인 polyphenol계 화합물들이 존재하지만, 대두박에 비해 그 연구는 극히 미약하다고 할 수 있다. 저자는 약 5년 이상 면실박에 관한 연구를 하면서 2년 전 HPLC 테크닉으로 면실박 내에 isoflavonoids의 하나인 quercetin이 엄청난 양으로 존재한다는 사실을 발견하였다 (그림 6). 또한 면실박 에탄올 추출물의 항산화 효과는 대두박과 함께 *in vitro* 상태에서 비교하여 그 효과가 결코 뒤지지 않는다는 사실을 검증하기도 하였다 (그림 7).

따라서 폴리페놀계 천연화합물의 대사경로 및 흡수 이용률이 여러 연구를 통해 밝혀진다면, 어류양식 산업에 미치게 되는 영향은 매우 크다고 할 수 있겠다. 특히, 어류 사료 내 단백질원으로써 식물성 단백질원의 사용 비율을 높임으로서 최근의 문제점인 사료생산 단가를 절감하는 경제적 효과뿐만 아니라, 기능성 바이오 생물 창출을 양식을 통한 어류에서도 달성할 수가 있기 때문이다. 한 예로써, 기호성 음식으로 육류보다는 횟감을 자주 섭취했을 경우, 혈중 콜레스테롤 수치

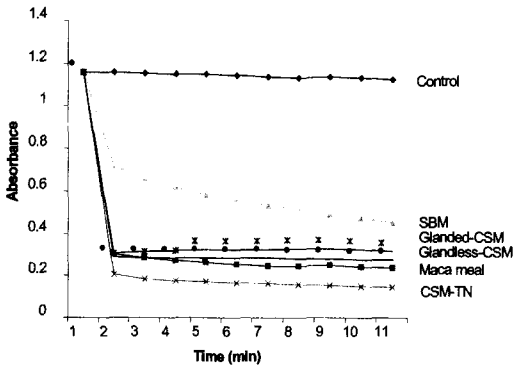

그림 7. 여러 종류의 면실박과 대두박에 있어서의 항산화 효과 (DPPH radical 제거효과). 면실박의 항산화효과가 대두박에 비해 높은 것은 보여줌 (미발표).

를 낮추어 장기적으로는 성인병과 관련된 심혈관 질환을 줄일 수 있는 고부가가치의 최고급 넙치 횟감생산이 가능할지 누가 알겠는가.

Ⅵ. 결 론

미국과 일본을 포함한 여러 선진국가들 (유럽국가들)의 경우, 이미 여러 영양소들에 대한 많은 연구를 통해 사료의 질을 떨어뜨리지 않고 배합사료의 최종 생산가격을 낮춤으로서 양어사료의 혁신을 계속적으로 거듭하고 있다. 이러한 결과로 국내에서의 많은 어류양식장에서는 값비싼 외국 수입 사료를 그대로 사용하는 경우를 쉽게 찾아볼 수 있다. 그러나 최근 국내에서도 많은 연구가 수행되었고 그 결과들이 실용화될 수 있는 초기단계에 와 있다. 이러한 시점에서 여러 필수영양소들의 적정 첨가량 외에 기능성 사료 개발과 같은 고부가가치 사료 개발에 관한 연구들도 병행 해 나간다면, 외국사료의 사용과 비교해서 오히려 우수한 질의 배합사료 생산이 가능할 것으로 본다.

이러한 연구는 특히, 수산양식업에서의 친환경적 양식과 인간의 건강을 고려하는 「21세기형 바이오 첨단 양식산업」이 나아가야 할 방향과 일치한다고 사료된다.

참 고 문 헌

Colin-Negrete, J., H.E. Kiesling, T.T. Ross and J.F. Smith, 1996. Effect of whole cottonseed on serum constituents, fragility of erythrocyte cells, and reproduction of growing holstein heifers. Journal of Dairy Science 79: 2016-2023.

Dabrowski K., K.J. Lee, J. Rinchard, A. Ciereszko, J.H. Blom and J.S. Ottobre, 2001. Gossypol isomers bind specifically to blood plasma proteins and spermatozoa of rainbow trout fed diets containing cottonseed meal. Biochimica et biophysica Acta 1525: 37-42.

Formica, J.V. and W. Regelson, 1995. Review of the Biology of Quercetin and Related Bioflavonoids. Food and Chemical Toxicology 33: 1061-1080.

Fowler, L.G., 1980. Substitution of soybean and cottonseed products for fish meal in diets fed to chinook and coho salmon. The Progressive Fish-Culturist 42: 87-91.

Hardy, R.W., 1999. Collaborative opportunities between fish nutrition and other disciplines in aquaculture: An overview. Aquaculture 177: 217-230.

Herman, R.L., 1970. Effects of gossypol on rainbow trout *Salmo gairdneriRichardson*. Jour-

nal of Fish Biology 2: 293-303.

Hertog, M.G.L. and P.C.H. Hollman, 1996. Potential health effects of the dietary flavonol quercetin. European Journal of Clinical Nutrition 50: 63-71.

Jackson, A.J., B.S. Capper and A.J. Matty, 1982. Evaluation of some plant proteins in complete diets for the tilapia *S. mossambicus*. Aquaculture 27: 97-109.

Le Marchand, L., 2002. Cancer preventive effects of flavonoids - a review. Biomedicine and Pharmacotherapy 56: 296-301.

Lee K.J., K. Dabrowski, J.H. Blom and S.C. Bai, 2001. Replacement of fish meal by a mixture of animal by-products in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. North American Journal of Aquaculture 63: 109-117.

Lee, K.J. and S.C. Bai, 1997. Haemoglobin powder as a dietary fish meal replacer in juvenile Japanese eel, *Anguilla japonica* (Temminck et Schlegel). Aquaculture Research 28: 509-516.

Lee, K.J. and K. Dabrowski, 2002. Tissue gossypol and gossypolone isomers in rainbow trout fed low and high levels of dietary cottonseed meal. Journal of Agricultural Food and Chemistry 50: 3056-3061.

Mbahinzireki, G.B., K.Dabrowski, K.J. Lee, D. El-Saidy and E.R. Wisner, 2001. Growth, Feed Utilization and Body Composition of Tilapia (*Oreochromissp.*) Fed Cottonseed Meal-based Diets in a Recirculating System. Aquaculture Nutrition 7: 189-200.

Middleton, E. Jr., C. Kandaswami and T.C. Theoharides, 2000. The effects of plant flavonoids on mammalian cells: Implications for inflammation, heart disease, and cancer. Pharmacology Review 52: 673-751.

NCPA, 2001. Nutrient composition of cottonseed feed products. National Cottonseed Products Association Inc., Memphis, Tennesse, USA.

Nwoha, P.U. and T.A. Aire, 1995. Reduced level of serum cholesterol in low protein-fed Wistar rats. Contraception 52: 261-265.

Ofojekwu, P.C. and C. Ejike, 1984. Growth response and food utilization in the tropical cichlid, *Oreochromis niloticus* (Linn) fed on cottonseed-based diets. Aquaculture 42: 27-36.

Pauly, D., V. Christensen, R. Froese and M.L. Palomares, 2000. Fishing down aquatic food webs. American Scientist 88: 46-51.

Radcliffe, J.D., C.C. King and V. Imrhan, 2001. Serum and liver lipids in rats fed diets containing corn oil, cottonseed oil, or a mixture of corn and cottonseed oils. Plant Foods for Human Nutrition 56: 51-60.

Risco, C.A., C.A. Holmberg and A. Kutches, 1992. Effect of graded concentrations of gossypol on calf performance-toxicological and pathological considerations. Journal of Dairy Science 75: 2787-2798.

Robinson, E.H., 1991. Improvement of cottonseed meal protein with supplemental lysine in feeds for channel catfish. Journal of Applied Aquaculture 1:1-14.

Robinson, E.H. and J.R. Brent, 1989. Use of cottonseed meal in channel catfish feeds. Journal of World Aquaculture Society 20: 250-255.

Robinson, E.H. and M.H. Li, 1994. Use of plant proteins in catfish feeds: replacement of soybean meal with cottonseed meal and replacement of fish meal with soybean meal and cottonseed meal. Journal of World Aquaculture Society 25, 271-276.

Robinson, E.H. and T.R. Tiersch, 1995. Effects of long-term feeding of cottonseed meal on growth, testis development, and sperm motility of male channel catfish. Journal of World Aquaculture Society 26: 426-431.

Wolf, L.E., 1952. Some pathological symptoms in brown trout on an all-meal diet. The Progressive Fish-Culturist 14: 110-112.