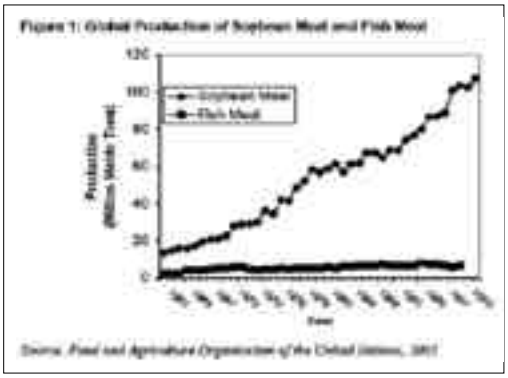
해산어 배합사료에 대한 대두박의 이용성

□ 서 론

수년 동안 양어사료용 어분을 대체하기 위한 사료원의 개발은 지속적인 관심사이며, 이러한 움직임은 어분 가격과 공급량에 따라 변화되어 왔다. 최근에는 세계 수산물 생산량에 있어 어분의 생산이 부정적인 측면에서 부각되고 있다. 이에 따라 사료원 가운데 어분대체원들이 검토되어왔으며, 대두박 부산물은 안정적인 공급과 가격, 양호한 아미노산조성으로 가장 유망한 대체원이라고 알려지게 되었다. FAO 통계에 따르면 세계 대두박 생산량은 1961년에 약 천 5백만 톤에서 2001년에 1억 7백만 톤으로 증가하였다. 반면에 어분생산량은 5백만 톤에서 7백만 톤으로 정체되고 있으며(그림 1), 가까운 미래에도 이 수준이 유지될 것으로 예상된다.

양어사료용으로 적절한 대두박 부산물은 3가지 범주로 나누어 볼 수 있다: 단백질, 오일, 레시틴. 대두 레시틴은 콜린 공급원과 그리고 유화제로서 상업적인 양어사료에 이용되지만, 학술적으로 주목받는 것은 대두 단백질이다. 대두유는 지방산 조성 때문에 제한된 한도 내에서 해산어에서 이용되고 있으나 그것의 이용은 확대될 것으로 전망되고 있으며, 어유에 대한 대체 가능성도 그 수요만 큼 가능할 것이다. 본

그림 1) 대두박과 어분의 전세계 생산량



논문에서는 대두 생산물의 이용성에 관하여, 특히 연어과 어류를 제외한 해산 양식어류에 대한 단백질원의 이용에 대한 논문들을 총설하였다.

대두생산물의 생산량과 이용에 관한 많은 정보는 다음의 문헌에서 얻을 수 있다 (Lim et al., 1998: Hardy 1999: Storebakken et al., 2000: and Swick., 2002). 그리고아래의 웹싸이트에서도 추가적으로 정보를 얻을 수 있다.

www.soymeal.org, www.unitedsoybean.org, www.centralsoya.com, wwwsoygrowers.com.

□ 대두 생산과 제조

대두의 생산과 제조에는 많은 과정이 있다. 일반적으로 껍질이 제거되면 콩은 플레이크 형태로 납작하게 만들어지고, 용매에 의해 기름이 추출된다. 회수된 기름은 레시틴으로 응결하기 위해 가수분해하여 농축된 형태의 오일만 남겨둔다. 탈지된 단백질 플레이크는 트립신 저해인자를 제거하기 위해 가열시키며, 이것을 탈피대두박이라고 한다. 이는 조단백질 함량이 약 48%이며 지방함량이 낮고 탄수화물 함량이 높은 생산물이며, 대두 껍질을 마쇄하여 혼합하면 단백질 함량 약 44%인 일반대두박을 생산할 수 있다. 지방을 추출하지 않은 생대두는 항영양소 성분을 제거한 후 양어사료에 사용되어 진다.

트립신 저해인자 뿐만 아니라 몇몇 항영양의 알레르기성 탄수화물이 대두 내에 존재한다. 예를 들어 glycinin, βconglycinin, 소당류, 렉틴 그리고 사포닌 등이 이에 속한다. 대두박 내 어떤 특정 형태의 탄수화물은 기호성에 영향을 미칠 수도 있다. 대두 내 항영양 인자들은 용매추출에 의해 선택적으로 제거될 수 있으며, 이러한 방법에 의해 단백질 함량도 증진시킬 수 있다. 그런 대두 가공 부산물 중의 하나인 대두농축단백 (soy protein concentrate) 과분리대두단백 (isolated soy protein) 은단백질 함량이 각각 70% 와 90% 가 된다.

용매로 사용된 알코올뿐 만 아니라 제조 과정상의 열처리 시간과 온도는 최종 생산물의 특성에 영향을 미치며, 항원의 생성을 줄일 수 있다. 대두농축단백질은 전통적인 가공 기술인 압출 · 성형에 의해 생산된다. 수분, 지방, 단백질, 미네랄과섬유소를 포함하는 일반 성분은 대두 생산물의 종류에 따라 다양하게 나타나며, 단백질 함량은 비단백질 요소를 선택적으로 제거함으로써 증가된다. 그러한 까닭에 전지 대두박은 용매추출 대두박에 비해 단백질 함량이 낮으며, 대두농축단백보다 월등히 낮은 단백질 함량을 나타낸다 (Table 1). 추출 형태의 특성은 용매, 추출 시간에 따라 다양하며, 특히 농축대두단백질은 일반 성분에서도 차이가 있다. 그러나 단백질의 수준이 높든 낮든 단백질의 아미노산 조성은 뚜렷하게 변화하지 않는 것이 중요하다. 따라서, 대두 내 메티오닌은 그 함량이 낮기 때문에 대두박과 농축대두단백을 사료원으로 사용할 때는 모두 메티오닌을 추가적으로 보충하는 방안을 생각해야 한다

대두 단백질의 이용에 대해 많은 연구들이 되어 왔고 - 특별히 동물사료에서의 대두박 - 이제는 일반적인 사료원으로서 여러 어류의 상업용 배합사료에 사

표 1) 대두 단백질의 일반조성

Table 1: Typical Proximate Composition of Soybean Protein Products

Ingredient	Moisture	Protein	Lipids
Soybean meal	11.0%	45.0%	1.2%
Full-fat soybean meal	10.0%	38.0%	18.0%
Soy protein concentrate	8.0%	64.0%*	0.5%
Ingredient	**Fiber**	**Ash**	
Soybean meal	4.1%	6.1%	
Full-fat soybean meal	3.0%	4.1%	
Soy protein concentrate	4.1%	3.5%	

*Now that the protein level reported for soy protein concentrate is considerably higher than the commercially accepted definition of greater than 65% on a moisture free basis.

Sources: NRC 1993, Tacon, 1990

용되고 있다.

대두농축단백질은 앞으로 양식사료 원으로서의 이용 가능성이 높다. 때때로 일부 해산어용 사료원인 식물성 생산물에서 직면하는 기호성을 떨어뜨릴지도 모를 특정한 탄수화물의 제거가 논점이 된다. 대두농축단백질의 단백질 함량은 대략 65% (습중량기준), 지질함량은 1% 이하 그리고 회분 함량 약 6% 이하이며 인 함량이 낮다. 아미노산의 수준과 균형(Table 2)을 볼 때, 비록 대두농축단백질이 메티오닌 함량은 낮지만 식물성 단백질 중에서는 가장 적합한 사료원 임을 입증하고 있다.

표 2) 어분과 대두 단백질의 아미노산 조성

Table 2: Typical Essential Amino Acid Levels of Fish Meal and a Soy Protein Concentrate
Including Cystine, Tyrosine and Taurine

Amino Acid	Fish Meal (% as fed)	Soy Protein Concentrate (% as fed)
Tryptophan	0.731	0.771
Lysine	5.252	4.278
Histidine	1.856	1.790
Arginine	4.703	5.004
Threonine	3.036	2.742
Cystine	0.393	1.010
Valine	3.794	3.353
Methionine	2.368	1.554
Isoleucine	3.063	3.115
Leucine	5.400	5.378
Tyrosine	2.383	2.472
Phenylalanine	2.705	3.392
Taurine	0.812	0.000
Essential Amino Acids Sum	37.017	34.908

Source: 27-94 SSF, Norway

□ 양어사료에 이용되는 대두 단백질 생산물

일반적으로 양식산 해산어는 육식성이고 담수종보다 비교적 높은 사료 내 단백질 함량을 요구한다. 전통적으로 단백질 요구량은 높은 영양가와 기호성이 뛰어난 특징을 가진 양질의 어분을 함유시켜 줌으로써 균형을 맞추어 왔다. 고가이며 공급이 불안정한 동물성사료원(어분)은 해산단백질 수확의 비효율성으로부터 야기되는 우려 때문에 사료제조자들은 적당한 대체원을 찾기 위하여 노력하고 있다.

대두생산물은 연어과 어류를 제외한 해산어를 포함하여 모든 타입의 어류 사료내 단백질원으로서 주로 저렴한 가격과 공급의 안정성 그리고 고른 영양가 때문에 지대한 관심을 받아왔다. 다양한 어종의 연구결과를 검토해 볼 때 전반적으로 양호한 영양학적인 질에도 불구하고 사료내 대두생산물의 이용에는 많은 제한이 있는 것으로 보인다. 이러한 제한요인들 중 가장 중요한 것들은 아미노산의 불균형(특별히 메티오닌의 결핍), 일부 어종에서의 낮은 기호성, 인과 일부 다른 미네랄의 생물학적 이용성을 감소시키는 화합물을 자연적으로 발생시키는 피틴산의 존재, 그리고 소화효소인 트립신을 불활성화시키고 단백질 소화율을 줄이는 트립신 저해인자의 존재 등이 있다. 아미노산 균형은 결핍 아미노산(대두 단백질의 경우에 메티오닌)을 강화한 다른 사료원을 함유하거나 직접 보충하면 해결된다.

그러나 낮은 기호성은 섭취촉진제를 첨가하면 극복되어 질 수 있다. 미네랄 이용성에 대한 피틴산의 영향은 피틴산을 파괴시키는 효소 처리 또는 더 높은 수준의 어떤 미네랄을 보충시켜 주면 경감되어 질 수 있다. 대두박 제조 과정 동안 적용된 열처리는 트립신 저해인자를 파괴시킬 수 있다.

○Japanese Flounder (넙치)

양어사료로 이용되는 어분과 생사료를 대체하기 위한 대두박과 같은 대두생산물의 이용이 많은 연구의 초점이 되어왔다. 대두생산물을 포함하여 어분과 관련된 사료원의 영양학적인 가치를 추정해왔던 가장 흔한 방법중의 하나는 어분대체에 있어서 생산물의 등급(품질) 수준에 따라 일련의 사료를 공급하고 적절한 반응을 추정하는 것이다(보통 성장, 사료효율 건강도). 예를들면 Dr. Kikuchi는 어분대체에 있어서 탈지대두박을 함유하고 있는 일련의 사료를 넙치에 공급하였을 때 이 실험에서 다른 단백질원들을 더 작은 양 공급할수록 대두박을 더 많이 첨가시켜 주었다. 저자는 만일 사료섭취촉진제(이 실험에서는 진주담치)와 함께 다른 단백질원이 있다면 대두박으로 어분을 45%까지 효과적으로 대체할 수 있다고 하였다. 이 종에 관한 이전의 연구에서는 적절한 보충 아미노산을 첨가시켰을 때 어분을 50%까지 대체 가능한 것으로 나타났다.

피틴산은 대두 생산물을 포함하여 많은 식물성 물질의 성분으로부터 자연 발생한다. 그리고 단위동물은 이용할 수 없는 인 공급원이다. Masumoto 등(2001)은 피틴산을 수소화시키는 효소인 phytase의 대두박과 대두농축단백질 인의 생물이용성에 대해 효율성을 검토하였다. 이러한 연구자들은 대두박을 함유하는 사료의 보충원으로서 phytase를 첨가하거나 대두박을 미리 효소 처리하여 상대적인 효율성을 검토하였고 두 방법 모두 사료내 인의 생물이용성을 엄청나게 증대시키는데 효과적이라는 결론을 얻었다. 대두농축단백질로 50 일간 성장 실험을 한 결과 phytase를 사료에 첨가함에 의해 또는 미량의 미네랄을 보충함에 의해 성장과 사료효율이 유의하게 증가하였다.

○Turbot (유럽산넙치)

Turbot Scopthalmus maximus은특별히 대서양 연안을 따라 유럽 북쪽 지방의 해수로 양식되는 고부가가치의 해산어이고 단백질 요구량이 높은 것으로 알려져 있다. 최근 한 연구에서 사료내 단백질원으로서 대두농축단백질의 효율성을 보고하였다(Day and Gonzalez, 2000). 이연구에서 대두농축단백질은 사료내 어분단백질을 0, 25, 50, 75, 100% 수준으로 대체하여 이 사료들을 사육동물(초기무게 13g)에 직접 공급하였다. 이 연구에서 대두농축단백질로 어분을 25%까지 대체한 수준에서 최종무게 또는 사료효율이 0%구와 유의적인 차이가 없었다. 외견상 단백질 소화율은 모든 사료구에서 동일하게 나타났다. 이 연구 다음에 수행된 실험에서는 메티오닌과 라이신을 사료 내에 보충해 주었다. 그 결과는 유의차가 나지 않았지만 사료원의 이용성이 향상되었다.

○Yellowtail (방어)

연어과 어류를 제외하고 아마도 사료 내 대두박의 잠재성에 관하여 가장 광범위하게 연구된 어종은 아시아의 여러 국가 특히 일본에서 양식되는 고가치의 어류인 방어일 것이다. 옛날에는 이 어종에 대한 주 양식사료는 어류에 직접 공급한 전갱이 생사료였다. 그러나 과거 10 년 동안 대체 배합사료 개발에 상당한 노력이 있었다 (Watanabe 등, 1991).

초기 연구에서 대두농축단백질은 더 높은 단백질의 질을 가진 반면에 상업용 탈지 대두박은 치어기 방어사료의 20%범위 내에서 어분대체가 가능하였다. Watanabe 등(1992)은 어분대체에 있어서 탈지 대두박을 0, 10, 20 그리고 30% 함유하는 사료를 공급하였다. 대두단백질을 약 20% 수준까지 공급한 어류의 성장과 사료효율은 어분 대조사료로 공급한 것과 매우 유사하게 나타났다. 반면에 이 수준이상에

서는 성장과 사료효율이 약간 감소하였다. 외견상 단백질 소화율은 대두박 첨가 수준과는 관계없이 모든 사료에 대해 동일하게 나타났다.

Viyakarn 등(1992)은 더 높은 수준의 연구에서도 유사한 결론을 얻었다. 이 두 연구에서 사료 내의 단백질 함량을 동일하게 하려는 시도는 없었고, 대두박 첨가 수준이 더 높은 사료일수록 단백질 함량은 더 낮았다. 어쩌면 그것이 어류의 성장에 영향을 끼쳤을지도 모른다.

방어에 있어서의 그 다음 연구는 발효 대두박의 영양적인 우수성, 대두박과 다른 단백질원 (옥수수글루텐, 육분, 맥아분)을 혼합 사용하였을 때 사료의 영양적인 질의 개선, 가공되지 않은 박과 비교해 보았을 때 열처리한 대두박의 단백질 소화율이 향상되었음을 보여주었다. 그리고 전지대두박을 압출성형사료에서 어분의 30%까지 대체하였을 때 사료 내 영양적인 질의 손실이 없음을 보여주었다.

○Atlantic Halibut (대서양가자미)

비록 대두단백질은 해산어 사료의 사료원으로서 유용하게 이용되어 왔지만, 첨가수준을 제한할 수 있는 두 가지 요인이 있는데 이는 기호성에 대한 영향과 아미노산의 불균형(대두 단백질내 메티오닌은 일반적으로 여러 어종의 요구량에 비해 적은 함량을 가진다)이다. 이 경우에 대두 생산물을 이용하기 위해서는 사료섭취촉진제 또는 기호성 강화제가 추가 첨가된다. 게다가 합성 메티오닌이 때때로 추가 첨가된다.

예를들면, Berge 등(1999)은 Atlantic halibut Hippoglossus hippoglossus에네 가지 사료를 공급하였는데, 두 가지 사료는 주 공급원으로서 양질의 어분을 함유하는 사료였고 반면에 나머지 두 사료는 대두농축단백질로 어분을 약 39% 대체한 사료였다. 후자의 두 사료는 결정체 형태의 합성 메티오닌을 0.5% 보충하여 주었다. 어분을 첨가한 하나의 사료와 대두농축단백질 사료중의 하나는 섭취촉진제로서 오징어분을 첨가하여 사료를 제작하였다.

12주 동안 세 집단의 어류에 각각 사료를 공급하여 성장률, 사료효율 및 소화율이 검토되었다. 실험종료 후, 성장에 있어서는 각 처리구(사료구)들 간에 유의차는 없었으며, 이는 대두농축단백질 28% 함유(전체 조단백질 함량 44% 공급)에서도 성장저하가 일어나지 않는다는 것을 보여준다. 대두 단백질을 함유하는 사료를 먹인 어류의 사료효율은 어분 기초 사료를 먹인 어류의 그것보다는 다소 낮았다. 그리고 저자는 이것이 대두농축단백질의 더 높은 섬유소함량 때문이라고 하였다(보통 건중량으로 약 3.5-4.5%) (Lusas and Rhee, 1995). 이러한사료원의 생물학적인 이용성을 측정하는 외견상 단백질과 지질 소화율계수는 어분과 대두단백질 사료에 있어서 동일하게 나타났다.

○Asian Seabass (농어류)

농어 Lates calcarifer는 과거 몇 십년 동안 많은 아시아 국가에서 양식되어 왔다. 이 어종의 사료는 흔히 양식에 있어서 가격이 상승하고 있는 양질의 어분을 요구하고 있다. Boonyaratpalin 등(1998)은 이 어종의 사료내 어분대체를 위한 다양한 대두 단백질 산물의 적합성(적절성)을 검토하였다. 이 연구에서 농어 사료내 어분의 37.5%가 각각의 4가지 생산물(용매추출대두박, 압출 성형된 전지대두박, 증기처리된 전지대두박, 가공하지 않은 침지한 전지대두박)로부터 같은 단백질 수준으로 대체되었다. 이들 사료들은 10주동안 치어기 농어에 공급되었고 성장, 사료효율, 외견상 소화율이 측정되었다. 10주후 용매추출대두박을 공급한 어류는 대조구의 83.7%와

83.3%만큼 성장을 보였으며 통계적으로 유의차가 나타났다. 그러나 이들 4가지 사료의 사료효율과 단백질 소화율 data는 동일하게 나타났고, 대두박을 함유하고 있는 사료가 성장률이 낮게 나타나는 이유는 영양학적인 질 차이보다는 오히려 사료섭취량 (예를 들면 기호성 문제) 때문이었다. 침지한 전지 대두박은 농어에 있어서 성장, 사료효율, 소화율 등이 뚜렷하게 저하된 것에서 볼 수 있듯이 이용률이 떨어졌다. 이러한 가공되지 않은 생산물의 영양학적인 가치를 떨어뜨리는 이유가 될 수 있는 것이 트립신 저해 인자이다.

○ European Seabass (농어류)

유럽산 농어 Dicentrarchus labrax는 지중해 양식 산업에서 경제적으로 중요한 어종이다. 양식산업에서 사료는 일반적으로 생산비의 상당한 부분을 차지하고 있다.

Lanari 등(1998)은 유럽산 농어(초기체중 100g)도 사료내 동물성 단백질(어분, 혈분과 효모)의 25%, 50%가 대두박에 의해 대체할 수 있음을 성장실험을 통해 보고하였다. 97일동안 대두박으로 어분의 25%를 대체한 사료를 공급한 어류의 성장은 대조사료를 공급한 어류와 유사하게 나타났다. 반면에 대두박을 가장 많이 첨가한 사료를 공급한 어류의 성장과 사료이용률은 대조구보다 유의적으로 낮게 나타났다.

이 연구결과는 대두박으로 유럽산 농어 사료내 어분을 25%까지 대체할 수 있다는 것을 알려준다. 이 연구에서 대두박의 외견상 단백질 소화율은 91%로 나타난 반면에 대조사료 단백질원은 92.2%로 나타났다.

Amerio등(1991)은 탈피대두박과 전지대두박을 각각 25%와 28%함유(0.8% 메티오닌 보충)하는 돔류(초기무게 169g) 사료의 영양적인 가치를 검토하였다. 246일 동안 사육실험 후 전지대두를 첨가한 사료를 공급한 어류의 무게는 상업용 대조사료를 공급한 것과 비교해 보았을 때 유의차가 나타나지 않았다. 반면에 대두박을 먹인 어류는 대조사료를 먹인 어류의 단지 91%만큼만 성장하였다.

Tulli등(2000)은 어분단백질을 대두단백질로 0, 20, 40 그리고 60% 대체한 사료를 먹인 농어(초기무게 11.7g)의 성장과 세포내의 그리고 체액면역반응을 측정하기 위해 90일간의 실험을 실시하였다. 어류의 사육실험에서 성장 또는 다른 측정항목에 있어서 의미있는 변화를 일으키지 않고 대두단백질로 사료내 어분단백질을 40%까지 대체가 가능하였다. 계속되는 실험에서 Tulli와 Tibaldi(2001)는 보고하기를 외견상 단백질과 에너지 소화율은 어분을 기초로 한 대조구 (각각 97.3%와 87.95%)보다 대두박을 기초로한 구 (88.9%와 69.3%)에서 다소 낮게 나타났다. 그러나 대두농축단백질의 단백질 소화율(97.3%)은 더 높게 나타났다.

Gomes 등(1997)은 어분과 비교하여 유럽산 농어 사료내 섭취촉진제 (2.5%의 아미노산 혼합제)를 첨가하거나 하지 않은 상태로 대두농축단백질의 이용성을 검토하였다. 이 실험에서 어분 기초 사료를 공급한 어류가 모든 그룹 중 가장 뛰어난 성장을 보였다. 그러나 대두박 기초사료내 섭취촉진제를 첨가한 사료를 먹인 어류는 사료섭취량과 어류의 성장이 유의하게 향상하였다.

○Gilthead seabream (돔류)

Gilthead seabream 사료내 어분대체용 대두박의 효율은 Robaina등(1995)의 연구에 의해 검토되었다. 이 연구는 하나의 성장실험과 하나의 소화율 실험으로 이루어져 있다. 성장실험에서 대두박으로 어

분단백질을 0, 10, 20 그리고 30% 대체한 사료를 60 일 동안 공급하였다. 어분단백질의 20%까지 대체한 대두박 첨가 수준에서 적어도 어분을 공급한 대조사료 만큼 높은 성장과 개선된 사료효율, 단백질 효율이 나타났다. 대두박 30% 대체수준에서 이러한 측정항목들은 다소 감소하였지만 유의차는 나타나지 않았다. 대두박을 점점 증가시켜 첨가한 사료의 단백질 소화율은 성장 패턴과 동일하게 나타났다.

유사한 연구에서 Nengas 등(1996)은 용매추출박으로 어분단백질의 대체수준이 0, 10, 20, 30, 40%인 사료를 공급한 Gilthead seabream의 성장을 검토하였다. 이 실험결과에서 대두박으로 성장의 저하 없이 어분의 20%까지 대체할 수 있었다. 추가실험에서 이 연구자들은 150℃로 열처리 한 후 그 때 5, 20 또는 45분 동안 가공된(cooked) 대두박 생산물을 첨가한 사료를 공급하였다. 트립신 저해인자의 파괴 정도는 그것의 활성 감소에 의해 측정되는데 열처리 가공에 의해 노출되는 시간이 가공하지 않은 대두박이 0%에서 가공시간이 각각 5, 20, 40분으로 증가함에 따라 67%, 73% 그리고 85%로 증가되었다. 이 실험에서 서로 다르게 가공된 대두박은 대두박이 들어 있지 않은 대조사료 내 어분단백질의 35%를 대체하였다.

대두박을 첨가한 사료를 공급한 사육동물의 최종 무게는 트립신 저해인자의 파괴 수준과 정의 상관관계를 가졌고, 가장 장시간 가공된 대두박은 적어도 어분대체 사료만큼 동등한 성장과 사료효율이 나타났다. 저자는 트립신 저해인자의 수준이 적어도 85%까지 줄어든다면 대두박은 이 어종에서 적절한 사료원이 될 수 있다고 결론지었다.

반대로 최근의 kissil 등(2000)의 연구는 gilthead seabream 사료 내 어분을 대체하기 위해 대두농축단백질의 효과를 검토하였다. 이 연구에서 칠레산 어분은 가소화 단백질 기준으로 대두농축단백질로 0, 30, 60 그리고 100% 대체 되었다. 이 사료들은 각 집단들이 평균무게 50g이 될 때까지 사육어류(초기 체중 12.1g)에 공급되었다. 대두농축단백질의 사료 내 첨가 수준과 어류의 성장은 역의 관계가 나타났다. 저자는 가장 높은 첨가 수준을 제외한 모든 구에서 영양학적인 조건 때문이라기보다는 감소된 사료 섭취 때문에 서로 다른 사료를 공급한 어류에서 성장 감소가 일어났다고 설명했다.

○Silver seabream (돔류)

Silver seabream Rhabdosargus sarba에있어서 사료 내 어분을 대체할 수 있는 대두박과 다른 사료원들의 효능을 평가하기 위한 하나의 연구가 El-sayed (1994)에 의해 수행되었다. 이 연구에서 어분단백질을 탈피, 탈지, 볶음 대두박으로 0, 25, 50, 75 그리고 100% 대체한 사료를 어류에 공급하였다. 대두박을 첨가한 사료는 메티오닌을 보충하여 주었다. 60일 동안의 사육실험 후 대두박으로 어분을 25% 대체한 사료구는 어분대조 사료와 비교하여 성장과 사료효율이 유사하게 나타났다. 그러나 가장 높은 수준의 대두박을 첨가한 사료를 어류에 공급했을 때 성장과 사료효율이 떨어졌다.

○Red sea bream (참돔)

참돔 Pagrus major은 일본에서 가장 중요한 해산양식종 중의 하나이다. Takagi 등 (1999, 2001)과 Aoki 등 (1996, 2000)은 참돔사료 내 어분을 대체하기 위한 대두단백질의 효과를 검토하였다. Aoki(1996)는 성어(730g)에서 40% 대두농축단백질, 10% 대두박, 3% 옥수수글루텐밀 그리고 12% 육분으로 어분단백질 (상업사료내 67%)을 100% 대체한 사료를 공급하였을 때 성장과 육질(sensory

panel에 의해 측정함으로써)이 유사하게 나타난 결과를 얻었다고 보고하였다. Takagi 등 (2001)은 치어기(초기체중 11g) 어류에 있어서 대두농축단백질의 영양적인 질은 아미노산인 메티오닌과 어느 정도의 라이신을 보충함으로써 향상되었다고 논증했다. 반면에 대두농축단백질을 첨가한 사료를 공급한 어류(초기체중 179g)의 년간 성장률은 아미노산을 보충해 주어도 효과가 없었다.

○Red drum (홍민어)

Reigh 와 Ellis (1992)는 홍민어 Sciaenops ocellaus 사료내 청어어분과 비교하여 대두박의 영양학적인 가치를 검토하였다. 그들은 대두단백질만 또는 대두단백질에 메티오닌을 보충한 사료의 섭취가 떨어진다고 보고하였다. 이 어종을 대상으로 한 일련의 사육실험에서 Davis등(1995)은 메티오닌, 라이신 그리고 사료섭취촉진제를 첨가하거나 첨가하지 않고 사료내 청어어분의 대체원으로서 대두단백질(대두박과 두종류의 분리대두단백)을 평가하였다. 저자는 적절한 아미노산(주로 메티오닌)과 섭취촉진제를 첨가하여 홍민어 사료의 어분대체원으로서 대두 단백질 생산물이 실용사료배합에 이용될 수 있다는 것을 알았다. McGoogan and Gatlin (1997)은 대두박으로 어분단백질의 90%를 대체한 사료로 공급한 홍민어가 단백질원으로 어분단백질을 100%첨가한 사료를 공급한 것만큼 성장하였음을 증명하였다. 그리고 2% 글라이신을 첨가하여 대두박의 대체 수준을 95%까지 증가시켰다.

○Milkfish (챠노스)

Milkfish Chanos chanos는 선호도가 뛰어나고 동남아시아에서 상업적으로 중요한 식용 어류이다. Shiau 등 (1988)은 30 또는 40%의 단백질을 함유하고 있는 milkfish 사료의 단백질원으로서 대두박으로 어분을 0, 33, 67 그리고 100%대체하여 이용가능성을 검토하였다. 메티오닌은 대두박을 함유하는 사료에 이 아미노산을 사료내 충분히 충족시키기 위해 추가하였다. 각각의 사료는 3반복으로 milkfish (초기체중 4g)치어에 8주 동안 공급하였고 실험 종료 후 외견상 단백질과 건물 소화율 계수를 측정하였다. 8주 후에 어분단백질을 대두박으로 33% 이상 대체한 사료구에서는 더 낮은 성장과 사료효율을 보였으나 대두박으로 67%또는 그 이하로 대체한 구들 사이에서는 전체 사료내 단백질 수준이 30 또는 40%에서 성장과 사료효율에 있어서 유의차가 없었다. 사료의 소화율은 어분에 대한 대두박의 대체 수준에 의해 영향을 받지 않았고 이는 두 사료원의 생물학적 이용성이 유사하다는 것을 알려준다.

□ Soy oil (대두유)

비록 대두생산물이 일반적으로 해양동물(생물) 사료의 단백질원으로 고려되지만 대두는 또한 많은 지방을 함유하고 있다. 동물 사료 산업 (특히 해양 동물)에서 증가하고 있는 수요를 충족시켜 줄 어분의 생산이 줄어드는데 대한 걱정과 더불어 해산 지방의 생산성도 떨어지고 있다. 대두 단백질 생산물은 과거 40년 이상 동안 세계적으로 엄청나게 생산이 증가해 왔으며 대두유의 이용성 또한 증가하였다. 그러나 상대적으로 해산어 사료원으로 어유를 대체할 수 있는 대두유의 적합성에 대한 연구는 적었다.

사료 내 지방은 생화학적 에너지와 지방산의 근원이다. 대두유는 뛰어난 에너지원인 반면에 해산동물에 있어서 양호한 지방산 균형을 충족시키지 못한다. 대두유는 단일 혹은 이중 불포화 지방산을 함유하고 있다(Table 3). 그러나 많은 해산 어종에 요구되는 일부 특정한 고도불포화 지방산이 결핍되어 있다. 그

표 3) 대두유의 지방산 조성

Table 3: Typical Fatty Acid Profile of Soybean Oil

Fatty Acid	Level (% of oil)
Saturated	
C12 (lauric acid)	Trace
C14 (myristic acid)	Trace
C16 (palmitic acid)	11.0
C18 (stearic acid)	4.1
C20 (arachidic acid)	Trace
Unsaturated	
16:1 (palmitoleic acid)	Trace
18:1 (oleic acid)	22.0
18:2 (linoleic acid)	54.0
18:3 (linolenic acid)	7.5

Source: American Soybean Association

표 4) 중국에서 해산어를 대상으로 한 대두박 첨가 실험의 실례

Table 4: Examples of Soy Inclusion Feeds for Use in Field-Based Feeding Trials in China with Marine Fish

[illegible]

Ingredient	Inclusion Level		
	Low Protein Soybean Meal Base Ration (40% Protein)	Dehulled Soybean Meal Base Ration ([illegible]% Protein)	Fish Meal Based Ration ([illegible]% Protein)
Fish meal (anchovy 65)	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Wheat flour (13)	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Dehulled soybean meal (47.5)		[illegible]	[illegible]
Soybean meal (40)	[illegible]		
Wheat gluten	[illegible]		
Corn gluten meal (60)		[illegible]	[illegible]
Fish oil, unspecified	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Mineral premix	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Vitamin premix [illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Stable vitamin C (35% active)	[illegible]		
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Total	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Source: American Soybean Association

리고 높은 수준으로 사용하기 위해서는 필수지방산을 함유하고 있는 사료원의 보충이 필요할 것이다.

예를 들면 Tucker 등 (1997)은 치어기 홍민어 사료내 대두유와 청어유의 상대적인 효능을 검토하였다. 낮은 함유 수준에서 대두유 첨가구는 청어유 첨가구 만큼의 성장을 보였다. 그러나 높은 수준에서는 명백히 필수지방산이 줄어들었기 때문에 어류의 성장이 저하하였다. 흥미롭게도 이 연구에서 대두유가 첨가된 사료를 공급한 어류의 생존율은 청어유가 첨가된 사료를 공급한 어류의 생존율보다 일관성 있게 더 높게 나타났다. 다른 분야의 연구는 사료섭취(어유는 흔히 사료의 기호성 면에서 대두유보다 뛰어남)에 대한 대두유 첨가 수준의 영향과 품질(사료내 어떤 종류의 지방은 물성, 향미 그리고 최종 생산물의 유효기간)에 큰 영향을 끼칠 수 있다.

□ 대두 생산을 향상시키기 위한 다른 연구 노력과 대두 생산물 이용

ASA(미국대두협회)는 특별히 동아시아에서 상업적인 연어과 어류를 제외한 해산어 양식 사료내 대두 단백질 생산물의 이용성을 알아보기 위해 수많은 연구를 지원해 왔다. 연구된 어종은 아래와 같다. Japanese sea bass (Lateolabrax japonicus), pompano (Trachinotus ovatus), yellow croaker (Pseudosciaena crocea), 홍민어 (Sciaenops ocellata), green grouper (Epinephelus awoara)와 blackfin sabream (Acanthopagrus sp.). 미국대두협회는 생사료와 실용사료로 치어기 어류, 성장기 어류와 유어를 포함한 서로 다른 용도의 대두 생산물을 첨가한 사료를 개발해 왔다. 이러한 사료는 이 어종의 실제 사육 현장에서도 적용되어 왔다. 미국대두협회가 후원한 실험 중 일부를 Table 5에 요약하였다.

표 5) 해산어 사료 내 대두박의 첨가의적합성 검토 를 위한 중국에서의 사육실험 결과

Table 5: Summary of Feeding Trials in China to Examine the Suitability of Soybean Protein in Diets for Non-Salmonid Marine Fish Species

Species	Feeds used (% protein)	Initial fish weight (grams)	Duration (days)	Result
Japanese Sea Bass	Micellized soybean meal (SBM) (43) versus fish meal (43)	3	[illegible]	Final weight: SBM [illegible] grams, Feed Conversion Ratio (FCR) [illegible]; fish meal [illegible] grams, FCR [illegible]
	SBM (43) versus fresh fish	10.8	[illegible]	Final weight: SBM [illegible] grams; fresh fish [illegible] grams
	SBM (47) to [illegible] grams, followed by SBM (43)	3.3	[illegible]	Final weight [illegible] grams, FCR [illegible]
	SBM (43)	25	98	Final weight [illegible] grams, FCR [illegible]
Red Drum	SBM (47)	4.5	90	Final weight [illegible] grams, FCR [illegible]
	SBM (43)	2.8	88	Final weight [illegible] grams, FCR [illegible]
	Wean from fresh fish to SBM (43)-extruded feed	105	[illegible]	Fish were successfully weaned, final fish weight [illegible] grams, FCR [illegible], growth and FCR impacted by poor water quality
Yellow Croaker	SBM (43) versus fresh fish	[illegible]	[illegible]	Final weight: SBM [illegible] grams, FCR [illegible], Fresh fish [illegible] grams, FCR [illegible]
	SBM (43) versus fresh fish	[illegible]	60	Final weight: SBM [illegible] grams; fresh fish [illegible] grams
	SBM (47)	2.2	30	Final weight [illegible] grams, FCR [illegible]
	SBM (47) versus SBM (43)	5.8	55	Final weight 42 grams, FCR 1.47, same for both treatments
	[illegible] versus fresh fish	[illegible]	45	Final weight was the same for both treatments: [illegible] grams, FCR [illegible]
	SBM (47) versus fresh fish	[illegible]	[illegible]	Final weight: SBM [illegible] grams, FCR [illegible] Final weight fresh fish [illegible] grams, FCR [illegible]
Pompano, Drum	SBM (47) to 50 grams, followed by SBM (43)	7	[illegible]	Final fish weight [illegible] grams, FCR [illegible]

Source: American Soybean Association

□ 결 론

대두로부터 나오는 생산물은 양식산 해산어류 배합사료의 뛰어난 사료원으로 여겨지고 있다. 이것은 적절한 아미노산 조성, 저렴한 가격, 사료 내 혼합의 용이성 그리고 항영양 요소를 적게 포함(적절하게 준비되었을 때)하는 단백질원이기 때문이다. 어류사료의 사료원으로서 대두단백질을 이용할 때 몇가지 항목들이 사전에 고려되어야만 한다. 주로, 항영양 인자의 제거 정도, 일부 어종에서의 기호성 문제, 그리고 낮은 메티오닌(가능하다면 라이신)등이다. 이러한 문제들은 적절한 가공처리에 의해, 사료원들을 균형있게 혼합 또는 적당한 첨가제(사료섭취촉진제, 아미노산 등)를 추가하면 해결될 수 있다.

높은단백질수준, 저렴한가격과대두생산물의지속적인 수요로 인해 어류사료내 대두생산물은 부분 또는 완전어분대체용으로이상적인사료원이될수있다.

□ 향후 연구 방향

양어 사료에 대두 생산물을 좀 더 완전하게 이용하기 위해서 첨가제나 단백질 보충 사료를 사용하는 연구가 행해질 필요가 있다. 대부분 양식되는 해산 어종은 육식성이고, 초식성이나 잡식성 어종보다 식물성 단백질에 대한 영양학적인 내성과 기호성 측면의 내성이 더 약하다. 그 문제들은 두 가지 방향에서 접근해서 해결할 수 있다.

1) 현존 생산물의 이용성을 향상시키는 것
2) 양식 어류의 요구에 부합하는 새로운 대두 생산물의 개발

물론 사료의 생산비를 줄이는 새로운 방법의 개발은 대두박의 이용성을 증대시키며, 양어 사료 내 대두 생산물의 이용성을 증대시킬 수 있는 연구는 결국 양식산업 투자를 전 세계적으로 증대시킬 것이다.

- 어종에 맞는 양호한 아미노산 조성을 가진 사료를 제조하는 것.
- 해산양식어종의아미노산요구량에대한(특히메티오닌과같은대두생산물에제한적으로존재하는아미노산에관한정보) 보다많은연구의필요성.
- 만일 대두생산물의 특정 미네랄이 피틴산과 결합하여 사용이 제한된다면 피틴산과 관련된 문제를 해결할 수 있는 사료를 개발하는 것.
- 특정한화합물의선택적인제거에의해기호성문제를개선한새로운대두단백질생산물의개발
- 메티오닌(또는 관련아미노산인 시스틴) 함량을 증가시키고, 피틴산을 줄인 새로운 대두박 품종을개발하는 것