

친환경농업을 위한 생물비료로서의 아졸라의 이용

남기웅, 윤덕훈

국립한경대학교 식물생명환경과학부

Usage of *Azolla spp.* as a Biofertilizer on the Environmental-Friendly Agriculture

Ki-Woong Nam and Deok-Hoon Yoon*

College of Agriculture & Life Science, Hankyong National University

Abstract

The aquatic fern *Azolla spp.* is of value as a bio-fertilizer for wetland paddy, and also can be used as an ideal feed for cattle, pigs and poultry. It is popular and cultivated widely in other countries like China, Vietnam, and the Philippines, but has yet to be taken up in Korea, in a big way.

It fixes nitrogen as high as 3-5kg N per day, because it contains nitrogen fixing blue-green algae, *Anabaena azollae*. *Azolla's* ability to create a light-proof mat that suppresses other weeds has been used for centuries in rice production. *Azolla spp.* has also the capacity to take up the heavy metals (75~100%) and may be used as a bioaccumulator. Moreover, *Azolla* meal as an unconventional feed resource has a potential as a feedstuff for livestock.

Key words: *Azolla*, *Anabaena azollae*, Biofertilizer, Fern, Nitrogen fixing

1. 서론

세계보건기구(WHO, 2002)에 따르면 전 세계적으로 약 1백만종의 화합물이 사용되고 있으며 연간 수 백만톤의 독성물질이 인류의 건강과 우리의 환경을 위협하고 있다고 한다. 우리나라는 2005년 세계경제포럼(WEF)에서 발표한 자료에 따르면 환경지속성지수(ESI: *Environmental Sustainability Index*)의 농약 및 화학비료사용량 순위에서 전세계 146개국 중 농약은 143위, 비료는 138위를 기록하여 세계 최고의 수준인 실정이다. 이에 따라 정부에서는 화학비료의 사용량을 2010년까지 ha당 연간 260kg수준으로 낮추고자 하는 노력을 기울이고 있으나 이는 세계 평균인 ha당 28kg에 비한다면 여전히 높은 사용량이다(농림부 2006).

이러한 당면문제에 대한 잠재적 해결방안으로 BGA와 *Azolla spp.*(물개구리밥속)를 사용하는 Bio-organic의 실천을 들 수 있다.

논이나 작은 연못, 강 등의 물 위에 떠서 자라는 조그만 수생 양치류인 *Azolla*는 아시



(a)



(b)

Fig. 1. Typical shape of Azolla.

아 남부 열대 및 아열대지방이 원산지이며 겨울철이 되면 잎이 붉게 변해 물색까지 붉게 보여 우리나라에서는 만강홍(滿江紅)이라 부르는 상록다년생초이다(Fig. 1a).

Azolla는 포자낭의 숫자에 따라 1과 1속(2아속) 7종으로 크게 구분되나(Table 1), 형태와 특성에 따라 세계적으로 약 66종이 존재하는 것으로 알려져 있다(Svenson, 1944).

Azolla의 크기는 1~5cm 정도로 잎은 토끼의 귀 모양처럼 여러 갈래로 갈라져 있으며(Fig. 1b), 남조류(BGA: *Blue-Green Algae*)인 *Anabaena azollae*와 공생관계를 이루고 있다(Van Hove 2002). BGA는 Azolla에게 질소를 공급하고 Azolla는 BGA에게 살 수 있는 장소를 제공하는데, Azolla는 최적조건에서 하루에 약 2~4kg의 질소를 고정하는 것으로 알려져 있으며(Gevrek 2000), 성장이 매우 빨라 3~5일 후 생체중이 두 배 이상으로 증가한다. Azolla의 꽃은 매우 드물게 피며 꽃차례는 짧고 1~2개의 수꽃과 1개의 암꽃으로 핀다. 열매는 주머니열매모양이고 그 속에 1~7개의 씨가 들어있다. 번식은 포자번식과 영양번식으로 한다.

Azolla는 건조에 민감하고 생육을 위한 최적온도는 25℃이며 영하 5℃까지도 견딜 수 있지만 40℃를 넘어가면 생육장애를 입는다(Uheda 등 1999). 양분은 물로부터 흡수를 하며 인산에 대한 의존도가 큰 편인데 과인산(superphosphate)의 시용으로 질소고정 능력이 크게 증가한다. 양분이 부족하거나 강한 햇볕에 노출되는 한여름이나 겨울에는 잎의 색이 붉은 색으로 변하지만 보통의 경우에는 초록색을 유지한다. Azolla는 약산성(pH 4~7)에서 잘 자라지만 인시류(나비 및 나방류)나 명나방과의 애벌레에 대해 아주 취약한 편이다(Gevrek 2001).

Table 1. Synopsis of the classification of *Azolla* spp. (Proposed by Saunders and Fowler, 1993)

FAMILY	<i>Azollaceae</i>		
GENUS	<i>Azolla</i>		
Subgenera	<i>Azolla</i>		<i>Tetrasporocarpia</i>
Sections	<i>Azolla</i>	<i>Rhizosperma</i>	
SPECIES	<i>A.caroliniana</i>	<i>A.pinnata</i>	<i>A.nilotica</i>
	<i>A.filiculoides</i>		
	<i>A.mexicana</i>		
	<i>A.microphylla</i>		
	<i>A.rubra</i>		
Subspecies		<i>A.pinnata</i> subsp. <i>africana</i>	
		<i>A.pinnata</i> subsp. <i>asiatica</i>	
		<i>A.pinnata</i> subsp. <i>pinnata</i>	

우리나라에서는 그동안 Azolla의 많은 잇점에도 불구하고 우리나라의 기후특성상 월동을 시키기 어려워 그에 대한 연구 및 활용이 미비하였다.

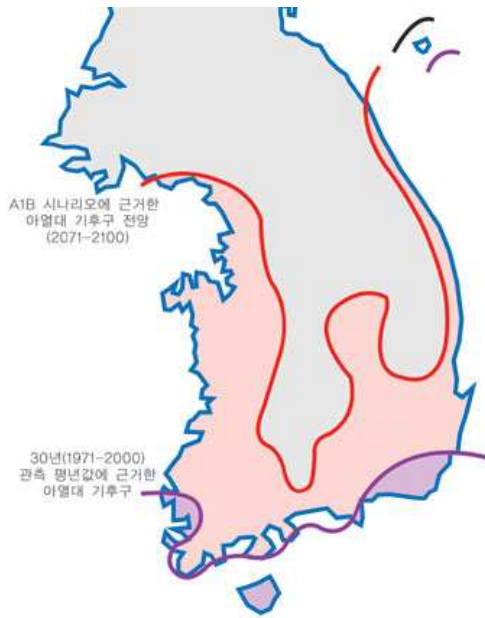


Fig. 2. Subtropical Climate Regions over South Korea.

권 등(2007)에 따르면 현재 제주도를 포함한 남해안 일부 지역에 해당하던 것이 2100년에는 태백산맥과 소백산맥을 중심으로 한 산지 주변을 제외하고는 대부분 아열대 기후에 포함되어 제주도와 울릉도를 포함한 도서 지역은 물론, 동해안으로는 속초, 서해안으로는 강화에 이르기까지 해안지역을 모두 포함하며, 서울, 인천, 수원 등 대도시 지역도 아열대 기후 지역에 포함될 것이라고 전망하였다(Fig. 2).

따라서 지구온난화에 따른 한반도 주변의 기후변화로 우리나라의 기후가 점차 아열대성 기후로 바뀌어 따라 수세기 동안 열대 및 아열대지역에서 천연생물비료자원으로 활용되어 왔던 Azolla의 활용방안에 주목을 할 필요가 있다.

2. 생물비료로서의 Azolla

수세기동안 Azolla는 공생질소 고정 능력과 높은 질소함량으로 인해 중국 남중부 및 베트남 북부 등의 벼 재배지역에서 녹비(green manure)와 유기성 자원으로 이용되어 왔다(Ferentinos 등 2002, 강 등 2004). 녹비로서 Azolla는 벼의 생육시기 등을 고려하여 단작, 간작 그리고 단작과 간작의 병행으로 Azolla 넣는 시기를 정할 수 있는데(Lumpkin and Plucknett 1985), 공극의 증가(3.7~4.2%), 토양 비중의 감소(Anonymous 1975) 그리고 장기간 이용시 토양밀도의 감소 등 토양의 물리성이 개선된다(Ventura and Watanabe 1993)고 한다.

Azolla를 논에서 재배하면 논물의 고온현상을 막을 수 있으며 당해년도 벼에 대하여 질소영양원을 공급하므로 수량을 증가시킨다고 한다(Keith와 Janiya 1992; Lumpkin와 Plucknett 1980; Talley 등 1977; 강 등 2004). 환경조건과 종에 따라 다르지만 Azolla는 ha당 약 10~20t의 생산이 가능하고 이로부터 약 2~4kg/ha/day의 질소를 공급하는 것으로 알려져 있는데(Singh 2002), Eyini(1999) 등에 따르면 벼 재배시 아졸라에 의한 질소고정량은 ha당 30~40kg에 이른다고 한다. Azolla가 고정한 질소의 약 70%는 본포에 옮겨진 후 20~30일이 지나면 벼가 이용하기 쉬운 암모늄태질소로 무기화된다(Van Hove 1989). 요소의 형태로 논에 공급되는 질소는 2주 이내에 암모니아(NH₃)의 휘산에 의한 작용으로 많게는 50% 가량의 질소가 손실되어 질소효율이 낮아지게 되는데 과거에는 암모니아의 휘산에 의한 손실 예방과 질소이용을 향상을 위하여 요소분해효소억제제(urease inhibitor)나 살조제(algicides)등이 사용되어왔다(Freney 등 1993; Cai 등 1987). Villlegas(1985)에 의하면,

Azolla로 덮혀 있는 논에서의 암모니아(NH₃)의 휘산에 의한 손실은 Azolla가 없는 곳에서 보다 약 20~50%가 감소하였다고 한다.

담수 pH의 상승은 암모니아의 휘산에 의한 손실을 증가시키는 원인이 된다. De Macale and Vlek(2004)에 의하면, Azolla로 덮힌 논에서 담수의 pH가 낮아진다고 한다. 이는 Azolla에 의한 유효광의 흡수에 의한 것으로(Vlek 등 2002), Azolla에 의한 조류의 광합성이 줄어들고 따라서 담수 pH의 급격한 상승을 억제하게 된다.

Singh 등(1981)은 Azolla가 재배되는 논에서는 인산(P)의 유효도가 증가한다고 보고였다. Azolla의 분해에 따른 인산의 유효도 증가는 환원과 킬레이트화로 설명될 수 있다. 이는 벼의 인산흡수율이 증가하고 벼 식물체 내의 인산의 농도가 높아진다(Singh와 Singh 1987)는 것과 같은 의미를 갖는다.

Azolla는 주요 다량원소의 함유량이 높아 퇴비화시킬 경우 전(田)작물의 비료로도 사용



Fig. 3. Direct application of *Azolla* to coffee tree.

할 수 있다(Table 2). Azolla의 품종에 따라 질소는 건물 중 3.92%에서 5%까지 함유된 것으로 보고되어 있어(Singh, 1987; Gevrek and Yagmur, 1997), 일반 퇴비(0.5-0.9%)보다 높은 수준이며 콩떡(soybean cake, 4.2%)과 비슷한 수준이다(Khan, 1983). 인은 품종별 0.5~0.9% 수준인 것으로 보고되어 있어 일반 유기물에 비해 다소 낮은 편이다. 칼륨의 경우는 1.25~4.5%까지 품종별 함유량의 차이가 큰데 이 역시 일반 유기물에 비해 높은 수준이라고 한다(Khan, 1983). 또한 Gevrek and Yagmur(1997)의 보고에 의하면, Azolla의 C/N율은 15:1-18:1 정도로 두과작물의 평균인 20:1-30:1보다도 낮아 토양내 환원시 일반 유기물보다 훨씬 빠르게 분해될 수 있다고 하였다. 실제로 인디아의 일부 커피재배 지역에서는 수확한 Azolla를 커피 나무 주위에 뿌려줌으로써 생산성

을 높이는데 활용을 하고 있다(Fig. 3).

Table 2. Chemical composition of the *Azolla* spp. (% on dry matter)

	<i>A.pinnata</i>	<i>A.mexicana</i>	<i>A.caroliniana</i>
Nitrogen	4-5	3.92	5.0
Phosphorus	0.5-0.9	0.52	0.5
Potassium	2-4.5	1.25	2.0-4.5
Calcium	0.4-4.0	4.3	0.1-1.0
Magnesium	0.5-0.65	1.1	0.65

3. 아줄라를 이용한 잡초 및 병해충 방제 효과

논농사를 짓는 농가의 경영비용 중 잡초방제를 위한 비용이 보통 20~25%를 차지하고 있다. 우리나라에서도 논에서의 잡초방제를 위한 친환경농법으로 오리나 우렁이를 이용하고 있지만, 오리의 사후 처리문제나 우렁이의 번식력 및 월동피해가 우려되고 있는 실정이다.

Azolla를 이용한 잡초방제 효과는 수많은 연구자에 의하여 연구되어 왔다. Azolla는 기본적으로 수면 위를 덮어 잡초의 광합성 작용을 방해함으로써 그 생장을 억제시킨다. Ngo(1973)는 주요 논·밭 잡초인 돌피(*Echinochloa crusgalli*)에 대하여 Azolla(*A. pinnata*)가 6주간 50%의 면적에 피복되어 있던 논에서는 약 70%가 방제되었으며, 100% 피복된 논에서는 93% 가량이 방제되었다고 보고하였다. 그러나 Azolla의 품종에 따라 *A. filiculoides* 같은 경우는 알방동사니(*Cyperus difformis*)나 마디풀(*Polygonum species*)계통의 잡초에서는 효과가 나타났으나, 돌피에서의 효과는 미비하다는 보고(Rains and Tally, 1979)도 있다.

Mandal 등(1999)은 Azolla에 의한 잡초방제 효과는 Azolla와 BGA의 재식밀도나 그 두께에 따라 다르며, 담수 후 잡초가 재출현하기 전에 Azolla와 BGA가 충분히 피복되어 있어야 한다고 하였다.

Lumpkin and Plucknett(1980)에 의하면 기온이 28℃ 이상에서 피해를 주는 깔다구나 명나방과 같은 해충은 벼 대신 Azolla를 더욱 선호하여 해충예방에 효과가 있으며, 또한 Azolla에 의한 수온의 저하로 뿌리썩음을 일으키는 *Pythium spp.*의 예방에도 도움을 준다고 하였다.

4. Azolla의 수질 및 토양오염물질 제거

중금속은 우리의 환경을 위협하는 매우 위협한 물질로 알려져 있고, 특히 도시 폐수에서의 중금속은 그 심각성이 날로 심화되고 있다. 자연계에서는 과축적자(hyperaccumulators)를 이용한 식물환경복원(phytoremediation)이 중금속 오염의 문제를 해결할 수 있는 방법이 될 수 있다(Henry 2000; Bennicelli 등 2004)고 하였다.

Bennicelli 등(2004)의 보고에 따르면, Azolla(*A. caroliniana*)는 비록 그 생장이 20~31%정도 감소되기는 하나 수온과 크롬과 같은 중금속을 상당량(70-964mg kg⁻¹ dm) 축적할 수 있다고 한다. Forni 등(2001)은 또한 Azolla가 호소의 부영양화를 유발하는 질소와 인산 등과 같은 요소를 제거하는 생물여과(biofilter)의 역할을 할 수 있다고 하였고, Zhao and Duncan(1997)에 따르면 Azolla(*A. filiculoides*)는 pH 6.0의 조건에서 약 46.2mg/g의 아연을 제거할 수 있다고 하였으며, Benaroya 등(2004)의 실험에 의하면 Azolla에 의한 납(Pb²⁺)의 축적이 2일 만에 200%까지 증가하였다고 하였다. 또한 *A. pinnata*와 같은 품종은 염화나트륨(NaCl)에 노출되었을 때 SOD(SuperOxide Dismutase) 및 APX(Ascorbate PeroXidase)와 같은 항산화효소의 활동이 증가하여 내염성이 증가하는 것으로 알려져 있다(Masood 등 2006).

5. 가축사료로서의 Azolla

Azolla에는 공중질소를 고정하는 남조류가 잎조직안에 많이 퍼져있어 하루에 ha당 55kg

의 조단백질(건물중 기준 23~35%)을 합성할 수 있는데 메티오닌(methionine), 로이신(Leucine), 발린(Valine) 등과 같은 필수아미노산이 많이 함유되어 있다(Khan, 1983)고 한다. Kamalasanana 등(2005), Becerra 등(1990)에 의하면, Azolla는 비타민(A, B12), 성장촉진매개물질(growth promoter intermediaries), 그리고 칼슘, 칼륨, 마그네슘과 같은 미네랄이 풍부하며 탄수화물이나 지방이 적고, 단백질이 풍부하고 리그닌 함량이 적어 가축이 소화하는데 무리가 없다고 하였다.

Basak 등(2002)은 120일된 닭에게 사료중 Azolla를 섞어 투입한 결과 5% 이상 함유된 사료가 단백질 공급면에서 우수하다고 하였고, Alalade and Iyayi(2006)등은 Azolla를 10% 섞어준 사료의 분석결과 건물중으로 조단백질 21.4%, 조섬유 12.7%, 조지방 2.7%, 조회분 16.2%, 탄수화물 47.0%로서 kg당 순에너지는 2,039 kcal에 달한다고 보고하였다. 따라서 Azolla를 함유한 가축사료는 양분공급은 물론 유독성이 없으며 식미감을 증진시켜줌과 동시에 상업용 사료에 비하여 가격이 저렴하여 농가 경영수지에 큰 도움이 된다고 할 수 있다.

Azolla를 가축사료로 이용시, 거두어 낸 Azolla는 2시간 정도 물을 찌 다음 그대로 먹이거나 죽탕쳐서 다른 먹이와 섞여 먹일 수 있으며, 또한 2% 석회물에 2시간동안 담갔다가 먹일 수도 있다. 마리당 하루에 큰 돼지는 5~7kg, 어린 돼지는 1~2kg, 닭과 오리는 100~200g을 먹인다. 단백질이 많고 당분이 적으므로 매초(埋草)가 잘 되는 먹이원료와 섞을 수 있으며, 생산량이 많을 때에는 말려 두고 먹일 수 있다.

6. 그 밖의 Azolla의 가치

Moran 등(2006)에 따르면 5500만년 전 북극 기후가 플로리다와 비슷하였는데 당시 지구 온난화가 바다에서 증발된 엄청난 양의 메탄, 엄청난 규모의 산불 또는 화산분출로 일어났을 것이라고 한다. 연구원들은 양치류 식물인 Azolla가 많은 양의 이산화탄소를 흡수하면서 백 만년 동안 온난화 진행 속도를 늦추는데 기여하였다고 보고하였다.

또한 Sisworo 등(1990), Singh and Singh 등(1987)은 Azolla의 재배에 따른 논토양내 유기탄소의 증가를 보고했는데, 재배조건이나 환경의 차이에 따라 ha당 0.5t에서 최대 42t까지 보고되어 있다(Reynaud and Roger 1981).

7. 결 론

Azolla에 대한 농업적 활용 측면에서의 연구결과에 의하면 Azolla는 증식이 빠르고 벼 재배시 수량 증가, 암모니아의 휘산 방지, 잡초억제 등의 효과가 있으며, 오염된 토양이나 수질에서의 중금속 제거 효과도 뛰어난 것으로 밝혀졌다. 또한 수확한 Azolla는 단백질이 풍부하고 리그닌함량이 적어 가축의 사료로서 가치를 인정받고 있으며, 발토양의 거름으로도 활용을 할 수 있는 등 그 활용가치가 다양하다.

최근 우리나라에서는 친환경농산물에 대한 농민 및 소비자의 관심이 크게 증가하고 있어 수많은 친환경농법들이 작물생산 현장에 소개되었으나 실천의 어려움 등으로 많은 농법들이 외면을 받고 있는 실정이다. Azolla는 현재 국내에서는 월동을 시켜야 하는 등의 일부 단점이 있긴 하지만 그 활용가치가 뛰어나고 관리가 용이하므로 친환경농업의 발전

을 위하여 본격적인 연구와 현장 적용 시험이 시작되어야 할 것이다.

Acknowledgements

The study was supported by the "GRRC" Project of Gyeonggi Provincial Government, Republic of Korea.

References

- 강위금, 이상민, 이용환, 윤홍배. 2004. 자운영 아졸라 이용법, pp. 102-114. *In*: 『친환경유기농업 영농활용메뉴얼』. 농촌진흥청.
- 권영아, 권원태, 부경은, 최영은. 2007. A1B시나리오 자료를 이용한 우리나라 아열대 기후 구 전망. *대한지리학회지* 42(3): 355-367.
- 농림부. 2006. 『2006~2010 친환경농업육성5개년계획』. pp.11.
- Alalade, O. A. and E. A. Iyayi. 2006. Chemical Composition and the Feeding Value of *Azolla*(*Azolla pinnata*) Meal for Egg-Type Chicks. *International Journal of Poultry Science* 5(2):137-141.
- Anonymous. 1975. Cultivation, propagation and utilisation of *Azolla*, Institute of Soils and Fertilizers, Chekiang Agriculture Academy, Chekiang.
- Basak, B., MD.A.H. Pramanik, M.S. Rahman, S.U. Tarafdar and B.C. Roy, 2002. *Azolla* as a Feed Ingredient in Broiler Ration, *International Journal of Poultry Science* 1(1): 29-34.
- Becerra, M., E. Murgueitio, G. Reyes and T.R. Preston. 1990. *Azolla filiculoides* as partial replacement for traditional protein supplements in diets for growing-fattening pigs based on sugar cane juice, *Livestock Research for Rural Development* 2(2).
- Benaroya, R.O., V. Tzin, E. Tel-Or and E. Zamski. 2004. Lead accumulation in the aquatic fern *Azolla filiculoides*. *Plant Physiology and Biochemistry* 42: 639-645.
- Bennicelli, R., Z. Stepniewska, A. Banach, K. Szajnocha and J. Ostrowski. 2004. The ability of *Azolla caroliniana* to remove heavy metals (Hg(II), Cr(III), Cr(VI)) from municipal waste water, *Chemosphere* 55: 141-146.
- Cai, G.X., J.R. Freney, E. Humpreys, O.T. Denmead, M. Samson and J.R. Simpson. 1987. Use of surface films to reduce ammonia volatilization from flooded rice fields, *Aust. J. Agric. Res.* 39: 177-186.
- De Macale, M.A.R. and P.L.G. Vlek. 2004. The role of *Azolla* cover in improving the nitrogen use efficiency of lowland rice, *Plant and Soil* 263:311-321.
- Eyini, M., K. Sujanandini, C. Pothiraj, M. Jayakumar, and Bong-Seop Kil. 1999. Differential Response of *Azolla microphylla* Kaulf. and *Azolla filiculoides* Lam. to Sodium Fluoride. *Journal of Plant Biology* 42(4): 299-301.
- Ferentinos, L., J. Smith and H. Valenzuela. 2002. Green Manure Crops: *Azolla*, Sustainable Agriculture Green Manure Crops Aug. 2002. CTAHR-SA-GM-2.
- Forni, C., A. Cascone, S. Cozzoline and L. Migliore. 2001. Drugs uptake and degradation by

- aquatic plants as a bioremediation technique, *Minerva Biotechnol* 13: 151-152.
- Freney, J.R., D.G. Keerthisunghe, P. Chaiwanakupt and S. Phongpan. 1993. Use of urease inhibitors to reduce ammonia loss following the application of urea to flooded rice fields, *Plant Soil* 155/156;371-373.
- Gevrek, M.N. and B. Yagmur. 1997. Bio-chemical Composition of *Azolla mexicana* under Menemen Climatic, *Turkish Journal of Field Crop* 2(1): 13-16.
- Gevrek, M.N. 2000. A study on azolla as an nitrogen source in rice farming, *Turk. J. Agric For.* 24:165-172.
- Gevrek, M.N. 2001. The performances of *Azolla Mexicana* in Turkish rice field, *Cahiers Options mediterraneennes* (58)
- Henry, J.R. 2000. An Overview of the Phytoremediation of Lead and Mercury, National Network of Environmental management Studies (NNEMS) Fellow, pp. 1-31.
- Khan, M. M. 1983. A primer on *Azolla* Production and Utilization in Agriculture, UPLB. PCARRD and SEARCA, Los Banos.
- Kamalasanana Pillai, P., S. Premalatha and S. Rajamony. 2005. *Azolla*: a sustainable feed for livestock, *LEISA Magazine*, September: 26-27.
- Keith, M. and J.D. Janiya. 1992. The role of *Azolla* in weed control in rice, *Phillippine Journal of Weed Science* 19: 79-102.
- Mandal, B., P.L.G. Vlek and L.N. Mandal. 1999. Beneficial effects of blue-green algae and *Azolla*, excluding supplying nitrogen, on wetland rice fields. *Biol. Fertil. Soils* 28:329-342.
- Lumpkin, T.A. and D.L. Plucknett. 1980. *Azolla*: Botany, Physiology and Use as a Green Manure, *Economic Botany* 34(2): 111-153.
- Lumpkin, T.A. and D.L. Plueknett. 1985. *Azolla*, a low cost aquatic green manure for agricultural crops, Innovative biological technologies for lesser developed countries: workshop proceedings. Congress of the US Office of Technology Assessment, pp.105-124.
- Masood, A., N.A. Shah, M. Zeeshan and G. Abraham. 2006. Differential response of antioxidant enzymes to salinity stress in two varieties of *Azolla* (*Azolla pinnata* and *Azolla filiculoides*). *Environmental and Experimental Botany* 58: 216-222.
- Moran, K., J. Backman, H. Brinkhuis, S.C. Clemens, T. Cronin, G.R. Dickens, F. Eynaud, J. Gattacceca, M. Jakobsson, R.W. Jordan, M. Kaminski, J. King, N. Koc, A. Krylov, N. Martinez, J. Matthiessen, D. McInroy, T.C. Moore, J. Onodera, M. O'Regan, H. Pälike, B. Rea, D. Rio, T. Sakamoto, D.C. Smith, R. Stein, K.St John, I. Suto, N. Suzuki, K. Takahashi, M. Watanabe, M. Yamamoto, J. Farrell, M. Frank, P. Kubik, W. Jokat, Y. Kristoffersen. 2006. The Cenozoic palaeoenvironment of the Arctic Ocean, *Nature* 441: 601-605.
- Ngo, G.D. 1973. The effect of *Azolla pinnata* R. Br. on rice growth, *In: Biotrop Report-Second Indonesian Weed Science Conference*, 2-5 April, Jogiakarta, Indonesia.
- Rains, D.W. and S.N. Talley. 1979. Use of *Azolla* in north America. *In: Nitrogen and rice.*

- IRRI, Manila, 419-433.
- Saunders, R.M.K. and K. Fowler. 1993. The supraspecific taxonomy and evaluation of the fern genus *Azolla* (Azollaceae). *Plant Systematics & Evolution* 184: 175-193.
- Singh, P.K., B.C. Panigrahi and K.B. Satapathy. 1981. Comparative efficiency of *Azolla*, blue-green algae and other organic manures in relation to N and P availability in a flooded rice soil, *Plant Soil* 62: 35-44.
- Singh, A.L. and P.K. Singh. 1987. Influence of *Azolla* management on the growth, yield of rice and soil fertility. II. N and P contents of plants and soil, *Plant Soil* 102: 49-54.
- Singh, D.P. 2002. *Azolla Biofertiliser for Rice*. CRRI Technology Bulletin 12.
- Sisworo, W.D., Eskew, D.L., Sisworo, W.H., Rasjid, H., Kadarusman, H., Solahuddin, S. and Soepardi, D. 1990. Studies on the availability of *Azolla* N and urea N for rice growth using ¹⁵N, *Plant Soil* 128: 209-220.
- Svenson, H.K. 1944. The New World species of *Azolla*. *Amer. Fern J.* 34: 69--84.
- Talley, S.N., B.J. Talley and D.W. Rains. 1977. Nitrogen fixation by *Azolla* in rice fields, **In**: A. Hollaender ed. *Genetic Engineering for Nitrogen fixation*, pp. 259-281. Plenum Press, New York and London.
- Uheda, E., S. Kitoh and N. Shiomi. 1999. Response of six *Azolla* species to transient hightemperature stress, *Aquatic Botany* 64: 87-92.
- Van Hove C. 1989. *Azolla* and its multiple uses with emphasis on Africa, FAO. Rome, pp. 53.
- Van Hove C. and A. Lejeune. 2002. "The *Azolla*-*Anabaena* Symbiosis, Biology and Environment, 102B(1): 23-26.
- Ventura, W. and I. Watanabe. 1993. Green manure production of *Azolla mycophylla* and fertility, *Biol. Fertil. oils* 15: 241-248.
- Villegas, G.G. 1985. Effect of *Azolla* cover on nitrogen in flooded Maahas clay. MSc Thesis. University of Phillipines, Los Banos.
- Vlek, P.L.G., U. Eberhardt and M. Aung. 2002. The role of *Azolla* in lowering the pH of simulated floodwater, *J. Appl. Bot.* 76: 1-7.
- Zhao, M. and J.R. Duncan. 1997. Batch removal of sexivalent chromium by *Azolla filiculoides*, *Biotechnol. Appl. Biochem.* 26: 172-179.