

과제구분	기본연구	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제명		연구분야	수행기간	연구실	책임자
원예재배 및 시설환경개선 기술개발		채소	'16~'18	농업기술원 원예연구과	김진영
아쿠아포닉스 채소생산기술 개발		채소	'16~'17	농업기술원 원예연구과	김진영
색인용어	아쿠아포닉스, 채소, 메기, 동자개				

ABSTRACT

This study was carried out to apply eco-friendly aquaponics technology which uses fish excrement as vegetable nutrients to the production of leafy vegetables. The addition of chemical nutrients to supplement the deficient nutrients in the fish growing water slightly increased the growth of vegetables, but the survival rate of fish was lowered due to the increase of the toxic nitrite in the water. The productivity of leafy vegetables in the growing water of catfish increased compared with Korean bullhead. The yield of vegetables was 55~75% in lettuce, 58~77% in water parsley, 65~69% in celery and 21~26% in Gyeojachae, respectively, compared with that of nutrient solution. Aquaponics cultivation model using aquaculture, hydroponic cultivator, and sand filter was set up, and it was confirmed that the nitrification effect was obtained in the water quality change for 7 weeks while the catfish and the korean bullhead were cultivated. The productivity of leafy vegetables cultivated with aquaponics was lower than that of general nutrient solution except beet(*Beta vulgaris*). This study suggest that aquaponic system demand the optimum density of fish in rearing tank suitable for vegetable growing. It is also necessary to develop a biological filter that can be converted to the nutrients of vegetables in a stable manner in fish excrement.

Key words : Aquaponics, Catfish, Korean bullhead, Leafy vegetables

1. 연구목표

아쿠아포닉스(Aquaponics) 시스템은 물고기를 생산하는 양어(Aquaculture) 기술과 채소를 생산하는 수경재배(Hydroponics) 기술이 융합된 환경 친화적인 기술이다(Kelly, 2013). 이 시스템의 특징은 물고기에서 발생하는 배설물이 미생물의 작용에 의해 질산화 과정을 거쳐 채소의 영양분으로 이용되고 다시 양어 수조로 환원되는 순환 방식으로 물 절약뿐만 아니라 환경 친화적인 재배법으로 최근 주목을 받고 있다(Patillo, 2017). 국내에서는 90년대 홍 등(1997)에 의해 양어와 채소 수경의 복합영농으로 틸라피아와 미나리를 생산하는 연구가 이루어 졌으나, 농가 단위의 실용화나 산업화로 지속되지는 못했다. 미국 등 해외에서는 주로 틸라피어를 이용한 아쿠아포닉스 연구가 활발히 진행되어 왔고 최근 국내에서도 틸라피아와 향어, 잉어 등 다양한 어종을 활용한 채소재배의 시도가 진행되고 있다(단나 CEA ; 하 등, 2017). 본 연구는 물고기가 자라는 양어수를 활용하여 엽채류의 생산성을 향상시키고, 순환식 아쿠아포닉스에 적합한 엽채류 선발을 통해 농가에 보급하는 모델을 개발하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

<시험1> 순환식 양어수 활용 엽채류 생산성 증대기술 개발

순환식 양어수를 활용한 엽채류의 생산성을 증대하기 위하여 양어수에 양액을 첨가하여 EC를 0.5ds/m 와 0.8 ds/m 처리구와 양어수 단독처리구와 비교하였다. 양어조는 200리터의 PP 수조를 개조하여 동자개와 메기를 사육하면서 조사하였고, 표준양액재배 (EC 1.2 ds/m) 처리와 엽채류의 생육정도를 비교하였다.

<시험2> 아쿠아포닉스 재배모델 설정

아쿠아포닉스 엽채류 재배모델을 설정하기 위하여 경기도해양수산자원연구소 내 양식과 채소 수경재배시설을 설치하였다. 양식 어류 시설은 BFT(Biofloc technology) 양식 시설이 가능하도록 설계하였으며 양어조, 보조탱크, 간이 스키머 장치로 설계하였다. 수경재배시설은 NFT 2단 시설로 구성하였고 아래층은 형광등을 이용한 보광장치를 설치하여 메기를 사육하면서 물고기와 채소의 생육을 조사하였다.

<시험3> 순환식 양어수 활용 적합 작목 선발

순환식 양어수를 활용하여 재배에 적합한 엽채류를 선발하기 위하여 상추(국화과), 적소렐(마디풀과), 샐러리(산형과), 비트(명아주과), 앤다이브(국화과)를 경기도해양수산자원연구소(양평)에서 실시하였다. 어종은 동자개(4,000마리)와 토종메기(1,100마리)를 10톤 어조에서 양어하면서 표준양액재배 시설에서 자라는 엽채류와 생육을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

<시험1> 순환식 양어수 활용 엽채류 생산성 증대 기술 개발

양어수의 부족한 양분을 보충하기 위하여 양액을 첨가한 처리구가 채소의 생육은 향상되었으나 동자개 생존율은 처리하지 않은 처리구 대비 생존율이 낮았다. 특히 상추를 재배한 양어수 EC 0.8 ds/m 처리구에서 20%의 가장 낮은 생존율을 보였으며 청경채 재배 양어수에서 양액을 첨가하지 않은 처리에서 가장 높은 98%의 생존율을 보여 양액 처리가 물고기에 부정적인 영향을 미침을 알 수 있었다. 이와 같이 생존율이 낮아지는 원인은 표 2의 수질분석에서와 같이 인위적으로 첨가된 질산이 아질산 형태로 전환되면서 물고기의 허용기준을 초과하여 검출되는 것으로 보아 독성으로 작용한 것으로 생각된다. 홍 등(1997)은 틸라피아를 이용한 채소수경재배를 무여과 방식으로 사육 시 아질산이 39.2 mg/l 까지 증가하고 용존산소가 낮아져 15일 경과에서 전량 폐사하였다고 보고하여 무 여과 방식의 한계점을 제시하였다.

표 1. 양어수 처리별 작물 생육 및 동자개 생존율

작물	처리내용 (EC ds/m)	초 장 (cm)	엽수 (개)	수량 (g/주)	생체중 (g)	동자개 생존율 (%)
상 추	양어 + EC조절(0.5)	14.4	10	17.1	20.8	22
	양어 + EC조절(0.8)	17.4	10	22.8	26.7	20
	양어수	11.1	9	7.5	10.1	62
	양액재배(대조)	23.3	9	43.7	49.5	-
미 나 리	양어 + EC 조절(0.5)	35.8	11.3	26.4	36.8	30
	양어 + EC 조절(0.8)	46.3	12.0	46.3	54.9	48
	양 어 수	33.4	12.3	15.3	23.2	80
	양액재배(대조)	52.7	10.7	52.4	65.1	-
청 경 채	양어 + EC 조절(0.5)	12.2	10.0	11.6	14.7	52
	양어 + EC 조절(0.8)	16.8	10.3	29.5	34.1	50
	양 어 수	9.2	11.7	5.7	8.2	98
	양액재배(대조)	18.1	7.7	30.5	34.1	-

¹정식 : 3월 22일, 생육조사 4월 10일, 동자개 50마리(170g)/200리터

²양액재배 : 엽채류 전용양액(EC 1.2ds/m)

표 2. 동자개 양어 시 처리별 수질분석 결과

처리 내용	작 물	pH	EC (dS/m)	수질분석항목(mg/l)							
				DO	BOD	COD	SS	T-N	NO ₃ -N	NO ₂	PO ₄ -P
양 어 수 (0.5 dS/m)	상추	8.2	0.5	9.0	2.8	22.3	1.4	21.2	1.5	18.2	4.6
	청경채	8.4	0.5	9.1	2.4	13.7	1.2	14.4	6.4	7.3	4.8
	미나리	8.2	0.5	8.8	1.8	24.8	1.0	23.1	0.5	21.5	4.5
양 어 수 (0.8 dS/m)	상 추	7.9	0.8	9.1	4.2	30.8	3.4	48.1	16.6	30.5	13.2
	청경채	8.1	0.7	9.0	3.0	16.3	1.0	40.1	27.5	11.2	13.0
	미나리	8.2	0.7	9.0	2.3	19.3	0.6	37.6	23.4	12.8	9.9
양 어 수	상 추	8.2	0.4	9.2	4.1	18.2	0.4	15.6	2.0	12.9	1.2
	청경채	8.2	0.4	8.9	2.6	12.8	1.0	8.9	0.2	8.0	1.0
	미나리	8.2	0.4	8.9	3.3	8.5	1.6	3.7	0.1	1.6	0.9
양액 (1.2 dS/m)	상 추	7.6	1.1	9.2	1.5	16.6	1.2	88.9	76.1	11.1	12.1
	청경채	7.9	1.0	9.4	1.5	13.0	0.6	81.5	71.4	9.1	11.6
	미나리	7.7	1.0	9.0	1.8	14.7	2.0	80.4	69.0	11.0	8.5

추가적으로 메기 양어수를 이용한 채소 생육 상황을 조사한 결과 대조인 양액재배 대비 상추는 55~75%, 미나리는 58~77%, 샐러리는 65~69%를 보였고 겨자채는 21~26%로 가장 낮았다. 일반적으로 엽채류의 영양 요구성은 작물별로 다소 차이는 있으나 특히 배추과 작물인 겨자채의 영양 요구도가 높아 생육이 낮은 것으로 생각된다. 또한 메기의 생존율을 조사한 결과 양어조 2개에서 모두 100%로 나타났다. 동자개 대비 생존율이 높아진 것은 메기가 동자개 대비해서 환경에 덜 민감하고 추가적으로 설치한 여과기(자료 미제시)가 아질산 등 물고기에 해로운 성분을 채소가 이용할 수 있는 형태로 전환하는 질산화 과정에 역할을 한 것으로 추정된다. 금후 아쿠아포닉스에 적용할 수 있는 여과기의 개발은 물고기의 고밀도 사육과 안정적인 아쿠아포닉스 시스템에 중요한 요소이므로 추가적인 연구가 필요할 것이다.

표 3. 메기를 이용한 양어수 처리별 채소 생육 상황

작물 ¹	처리내용	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (개/주)	생체중 (g)	수량지수
상추	양어수+EC 조절(0.5)	18.2	11.7	33	79	74
	양 어 수	16.7	10.5	30	58	55
	양액재배 ² (대조)	19.8	12.5	35	106	100
미나리	양어수+EC 조절(0.5)	40.0	15.6	6	192	58
	양 어 수	41.9	18.1	7	254	77
	양액재배(대조)	44.2	23.1	6	331	100
샐러리	양어수+EC 조절(0.5)	28.5	12.1	25	111	69
	양 어 수	30.0	15.0	26	104	65
	양액재배(대조)	39.2	18.0	29	160	100
겨자채	양어수+EC 조절(0.5)	11.0	5.5	18	18	26
	양 어 수	9.0	4.5	20	15	21
	양액재배(대조)	20.5	10.5	23	70	100

¹시험작물 정식 : 5월 15일, 생육조사 6월 19일, 메기 (50마리/톤)

²양액재배 : 엽채류 전용양액(EC 1.2ds/m)

표 4. 메기¹ 생존율 및 증체량

구 역	투입 마리수 (마리/톤)	생존 마리수 (마리/톤)	일자별 체중 (50마리/kg)		증체율 (%)
			5/8	6/20	
A 양어조	50	50	2.4	4.1	170
B 양어조	50	50	2.4	3.2	133

¹메기 양어기간은 5월 8일 ~ 6월 20일간임

<시험2> 아쿠아포닉스 재배모델 설정

양어 사육지 구성은 지름(φ) 4.5m 원형수조와 물의 순환 및 배수를 위해 보조탱크(2×1×1m) 및 간이 스키머 장치로 구성하였다. 물의 순환은 1마력 펌프 2대와 2마력 펌프 1대를 설치하였고(그림 1), 모래여과기를 추가로 설치하였다. 최종 어류 사육지로 순환되는 관은 PVC 급수용 150mm 관을 사용하여 수량의 흐름을 원활하도록 하였다. 7주간 메기를 사육한 양어수의 수질 환경을 조사한 결과 물고기에 유해한 암모니아와 아질산이 1주후부터 안정화 되어 질산화작용이 원활히 이루어짐을 확인하였다(표 1).

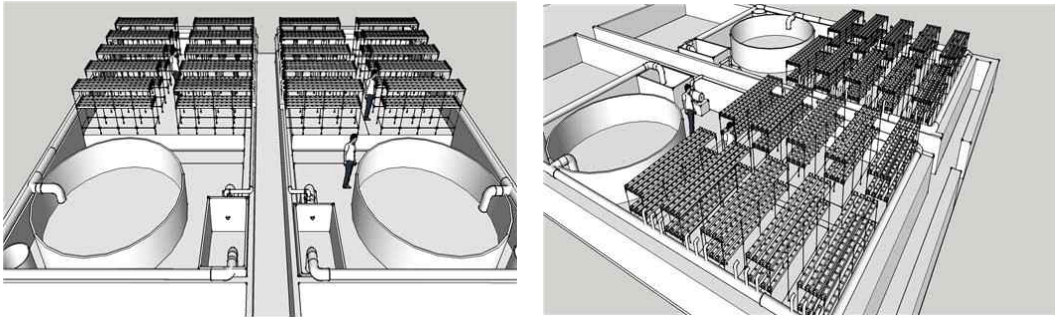


그림 1. 양어조와 수경재배 베드 이용 아쿠아포닉스 모델(해양수산자원연구소)

표 1. 아쿠아포닉스 설치 모델의 7주간 수질 변화

날짜(주)	수온(°C)	pH	DO(ppm)	NH ₃ -N(ppm)	NO ₂ -N(ppm)
1 주차	28.2 (1.5) [↓]	7.58 (0.41)	7.2 (1.22)	4.45 (4.31)	0.843 (1.109)
2 주차	28.1 (0.8)	7.49 (0.23)	6.98 (0.41)	2.71 (1.56)	0.38 (0.12)
3 주차	27.9 (0.4)	7.51 (0.18)	6.76 (0.62)	2.60 (0.42)	0.037 (0.011)
4 주차	28 (0.8)	7.63 (0.33)	6.31 (0.22)	2.50 (3.34)	0.097 (0.156)
5 주차	25.5 (0.5)	7.92 (0.07)	7.17 (0.22)	2.53 (0.65)	0.805 (0.236)
6 주차	25.8 (0.3)	7.52 (0.07)	7.12 (0.05)	1.06 (0.88)	0.201 (0.210)
7 주차	25.4 (0.4)	7.31 (0.04)	6.98 (0.04)	0.97 (0.79)	0.154 (0.089)

[↓] Standard deviation(SD)

<시험3> 순환식 양어수 활용 적합 작목 선발

동자개 양어 시 엽채류 생육은 비트 처리구를 제외하고는 대부분 일반 양액재배 대비 엽채류 생산성이 매우 낮았다(표 1). 이와 같은 결과는 아쿠아포닉스 재배에 기본적인 영양분인 NO₃ 함량이 5mg/ℓ이하로 낮아 절대적인 양분의 부족 현상에서 기인하는 것으로 보인다(표 2). 가을재배 메기를 양어한 엽채류 생육도 상추를 제외한 겨자채나 케일, 비트가 생육이 저조하였다(표 3). 따라서 아쿠아포닉스는 채소 생육에 적합한 양분을 최적화하기 위해서는 수조당 물고기의 밀도를 조절하여 배설물에서 만들어지는 영양분이 채소가 필요한 양분을 충족할 수 있는 물고기의 사육이 필수적이라고 생각된다.

표 1. 동자개 양어수와 양액재배구의 엽채류 생육(봄재배)

구 분	초장(cm)		엽장(cm)		엽폭(cm)		엽수(cm)		주당 수량(g)	
	양어	양액	양어	양액	양어	양액	양어	양액	양어	양액
상 추	7.0	11.9	6.5	10.7	6.1	13.1	4.6	5.6	60.0	179.6
적소렐	14.8	19.6	7.6	13.4	4.8	6.5	11.8	22.4	36.0	140.2
샬러리	11.0	13.7	10.7	12.7	5.3	6.8	6.4	6.2	27.2	77.2
비 트	11.6	14.9	6.4	10.4	4.1	6.3	4.6	5.4	31.0	26.0
앤다이브	12.2	17.2	11.6	16.3	4.1	6.9	5.8	10.6	54.6	172.2

¹엽채류 정식 : 4월 19일, 생육 및 수량 조사 : 5월 2일, 5월 12일, 22일

표 2. 동자개 양어수와 양액재배구의 수질

구 분 (월/일)	pH	EC (ds/m)	성분함량(mg/ℓ)							
			DO	BOD	COD	SS	T-N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	PO ₄ -P
양어수 (급액, 4/19)	6.4	0.3	9.0	15.4	56.0	30	4.8	0.03	-	-
양어수 (퇴수, 4/19)	6.6	0.3	8.8	19.3	74.0	36	3.1	0.03	-	-
양어수 (급액, 5/2)	6.7	0.2	11.4	2.3	6.0	6	3.1	3.3	0.01	-
양어수 (퇴수, 5/2)	6.9	0.2	11.3	2.2	5.6	8	2.9	3.2	0.02	-
양어수 (급액, 5/12)	7.4	0.2	11.0	2.8	8.0	16	3.3	0.1	0.1	0.1
양어수 (퇴수, 5/12)	7.4	0.2	11.1	2.8	8.0	14	3.2	3.3	0.1	0.1
양액 (대조, 4/19)	7.1	1.2	10.7	2.3	14.8	5	123.3	116.1	5.5	28.3

표 3. 메기 이용 양어수와 양액재배구의 엽채류 생육 상황(가을재배)

구 분	초장(cm)		엽장(cm)		엽폭(cm)		엽수(cm)		주당 수량(g)	
	양어	양액	양어	양액	양어	양액	양어	양액	양어	양액
맞치마상추	26.8	27.8	23.0	27.7	12.0	13.6	13.4	12.6	155.5	354.0
겨자채	32.0	37.6	27.1	34.4	13.6	16.2	5.6	6.4	122.0	304.0
꽃케일	22.1	27.3	7.3	10.3	7.5	9.8	9.2	10.0	11.5	79.0
하청상추	16.4	18.6	14.4	17.3	12.7	18.7	8.2	11.0	90.5	156.0
비트	21.1	28.3	18.2	25.9	6.3	9.6	6.4	6.2	22.5	87.5

¹엽채류 정식 : 9월 25일, 생육 및 수량 조사 : 10/11, 10/19, 10/30

4. 적 요

물고기에서 발생하는 배설물을 채소의 영양분으로 이용하는 친환경 아쿠아포닉스 시스템을 채소생산 적용기술로 개발하기 위하여 엽채류에 시험한 결과는 다음과 같다.

<시험1> 순환식 양어수 활용 엽채류 생산성 증대기술 개발

- 가. 양어수의 부족한 양분을 보충하기 위한 양액의 첨가는 채소의 생육을 다소 증가시켰지만 어류에 유해한 아질산의 증가로 물고기의 생존율이 낮아졌다.
- 나. 메기를 이용한 채소 생산성은 동자개 대비 수량이 증가하였으며, 양액재배와 비교한 수량지수는 상추 55~75%, 미나리 58~77%, 샐러리 65~69%, 겨자채 21~26%의 생육을 보였다.

<시험2> 아쿠아포닉스 재배모델 설정

- 가. 양어조와 수경재배대, 모래 여과기를 이용한 아쿠아포닉스 재배모델을 설정하여 메기와 동자개를 양어하면서 7주간의 수질변화에서 질산화작용이 이루어짐을 확인하였다.

<시험3> 순환식 양어수 활용 적합 작목 선발

- 가. 동자개와 메기 양어 시 엽채류 생육은 비트 처리구를 제외하고는 대부분 일반 양액재배 대비 엽채류 생산성이 낮았다.
- 나. 아쿠아포닉스는 채소 생육에 적합한 양분을 최적화하기 위해서는 물고기의 밀도를 최적화 하고 배설물에서 만들어지는 영양분이 채소가 필요로 하는 성분으로 전환 가능한 생물학적 여과기의 도입도 필요하다.

5. 인용문헌

- 하헌주, 정관식. 2017. 아쿠아포닉스의 국내 도입 가능성에 관한 연구. 수산해양교육연구 29(4). 1225~1234.
- 홍상근, 홍석우, 배용수, 강용구, 이준구, 최원식, 김진아, 정풍현, 김기덕. 1997. 양어와 채소 수경의 복합영농에 관한 농가실증시험. 농림부 최종연구보고서.
- Jason D. L. 2009. Biomass production and nutrient dynamics in an aquaponics system. The University of Arizona, USA.
- Kelly, A. M. 2013. Aquaponics. University of Arkansas Pine Bluff Extension. Available: <http://fisheries.tamu.edu/files/2013/10/Aquaponics2.pdf> (March 3, 2017)
- 만나 CEA. 2018. 흙도 없이 물고기가 키우는 채소. 한겨레(www.hani.co.kr)
- Pattillo. D. A. 2017. An Overview of Aquaponic Systems: Hydroponic Components. North Central Regional Aquaculture Center.(Technical Bulletin Series).

6. 연구결과 활용제목

- 아쿠아포닉스를 이용한 채소재배기술(기초활용)
- IPET 농생명산업기술개발 과제로 연계수행('18 ~ '20)

7. 연구원편성

과제	구 분	소 속	직 급	성 명	수행업무	참여년도
아쿠아포닉스 채소생산기술 개발	책임자	원예연구과	농업연구관	김진영	과제수행 총괄	'17
	공동연구자	"	농업연구사	김대균	수질분석	'16~'17
	"	"	농업연구사	심상연	양액조제	'16~'17
	"	"	농업연구관	이원석	생육조사	'16~'17
	"	"	농업연구관	서명훈	자료검토	'16~'17
	"	작물연구과	농업연구관	이수연	모델제안	'16
	"	해양수산 자원연구소	수산연구사	이동훈	어류분석	'16~'17