

IoT를 활용한 가정용 열대어 아쿠아포닉스에 관한 탐색적 연구

Exploratory Research : Home Aquaponics of Tropical Fish Using IoT

김경현*, 한동욱**

전주대학교 스마트Agro_ICT융합학과*, 전주대학교 스마트미디어학과**

Gyeong-Hyeon Kim(ghkim@jj.ac.kr)*, Dong-Wook Han(dongwook.han@gmail.com)**

요약

본 연구는 상업적인 목적으로 미꾸라지, 잉어, 메기 등의 어종을 활용한 아쿠아포닉스 시스템과 다르게 가정에서 반려어로 사육하는 열대 어종인 구피를 활용한 가정용 아쿠아포닉스의 적용 가능성을 탐색한 논문이다. 가정에서 아쿠아포닉스의 적용이 쉽도록 사물 인터넷 기술을 활용하여, 수조, 수초, 수경재배 화분, 식물생장용 LED, 아두이노 센서 등을 연결하여 시스템을 갖추었다. 수경재배 작물로는 가정에서 쉽게 구할 수 있고 소비할 수 있는 상추를 선택하였다. 열대어를 활용한 아쿠아포닉스의 적용 가능성을 확인하기 위해 동일한 환경의 수경재배 작물을 대조군으로 성장률을 비교하였다. 열대어를 활용한 아쿠아포닉스 작물의 성장률은 수경재배 작물의 성장률 대비 77.4% 정도였으며 이것은 향후 사육 열대어의 수, 성장에 적절한 산도(pH) 조절 등의 조건을 충족시킬 경우 수경재배와 동일한 효과를 낼 수 있다고 볼 수 있으며 향후 이를 활용하여 가정에서 적용 가능한 아쿠아포닉스 표준 시스템을 개발할 수 있다.

■ 중심어 : | 아쿠아포닉스 | 사물인터넷 | 데이터 분석 | 스마트팜 | 수경재배 |

Abstract

The aim of this study is to explore the possibility of applying new aquaponics using guppies, a tropical fish breeding as companion fish at home, different from the aquaponics system using fish species such as loach, carp, and catfish for commercial purposes. To facilitate the application of Aquaponics at home, a system was established by connecting a water tank, water plants, hydroponic pots, plant growth LEDs, and Arduino sensors using Internet of Things(IoT) technology. As a hydroponic crops, lettuce that can be easily obtained and consumed at home was selected. In order to confirm the applicability of aquaponics using tropical fish, the growth rates of hydroponic crops in the same environment were compared as a control. The growth rate of aquaponics crops using tropical fish was about 77.4% of that of hydroponic crops. This will produce the same effect as hydroponic cultivation if conditions correspond with enough fish quantity to feed plant and appropriate pH control for growth are met. It can be seen that, and in the future, it can be used to develop an Aquaponics standard system applicable at home.

■ keyword : | Aquaponics | IoT | Data Analysis | Smart-Farm | Hydroponic |

I. 서론

1. 연구 배경

농업은 생존에 필수적인 식량을 생산하고 공급한다. 세계적으로 밀, 옥수수, 쌀 등 작물을 생산하는 땅과 가축을 사육하는 방목지가 지구 육지의 약 40%를 차지한다. 인간이 사용하고 있는 지구 담수 50% 중 70%가 농사에 사용되고 있다. 미국 콜로라도 강은 사막 농지 관개를 위해 사용되었고 현재는 거의 바닥이 나서 바다로 흐르지 않는다[1]. 벼를 재배할 때 방출되는 메탄, 비료에서 나오는 아산화질소 등 인간이 만들어내는 온실가스의 24%가 농업 활동과 임업으로 인한 것이다[2]. 비료는 인과 질소의 양을 2배 이상 증가시켜 강과 바다의 수질을 악화시킨다. 농업을 위해 상당한 땅과 물을 사용하고 있으며 많은 온실가스를 배출하고 환경을 오염시키고 있다. 그러나 인구증가와 육류 섭취 증가로 인해 21세기 이내에 국제적 농업 규모를 거의 2배로 늘려야 하는 실정이다.

국내에서 농업에 사용되는 용수의 양은 2016년 연간 152톤으로 전체 수자원 이용량의 40.8%에 해당한다. 2020년까지 가뭄에 따른 농업용수는 연간 1.75~3.86억 톤 부족할 것으로 예측하였다[3]. UN 식량농업기구(FAO, Food and Agriculture Organization of the UN)에서는 기후환경의 이상 변화로 공기 오염이 심각해지는 지역에 시설재배 농사가 필수적이라고 하였으며, 비료, 농약이 필요 없는 아쿠아포닉스에 대한 지침서를 2014년에 발간하였다[4][5]. 네덜란드는 좁은 농지면적에도 농산물 수출국 세계 2위를 차지하고 있는 농업 중심 국가이다. 춥고 긴 겨울 때문에 온실산업을 육성하여 시설원예기술 강국으로 도약하였다. 네덜란드는 2015년 파리 기후협정 이후, 지속 가능한 농업과 식품 안전성을 목표로 2030년까지 농업정책 방향을 '순환경제로 가는 길'로 설정하였다. 저비용이지만 친환경적이지 못한 방식으로 인해 환경이 파괴되고 생물 다양성이 감소하는 것을 지적하고 이와 같은 환경문제를 해결하기 위해, 배출되는 배양액을 없애고 비료와 농약 사용을 최소화하고 작물의 잔여물, 거름 등 유기농 비료를 사용하고 폐수의 재사용을 확대하는 순환 농업(Circular Agriculture)을 지향하고 있다[6].

2. 연구 목적

아쿠아포닉스는 물고기와 작물을 함께 길러 수확하는 방식으로, 물고기 양식 과정에서 발생하는 사육수 내 유기물을 식물에 공급하면, 식물이 이를 영양분으로 흡수하면서 수질 정화와 작물 성장이 동시에 이루어지는 순환형 시스템이다. 비료와 농약이 사용되지 않고 버려지는 자원이 거의 없는 친환경적인 농법이며 물 소비량이 일반농장의 10%에 불과하다.

농업과 제4차 산업혁명기술(ICT, Cloud, Big data, Mobile), 로봇, 사물인터넷(IoT), 인공지능(AI) 등 기술을 융합한 스마트팜에 관한 연구개발은 정부와 기관, 기업, 대학에서 활발하게 이루어지고 있다[7]. 유리온실과 같은 시설재배와 비닐하우스에서 온습도센서 측정, 관수와 온도 등 재배환경 원격제어, 노지에서 수확을 돕는 로봇, 트랙터의 지능화 등으로 토양 재배와 수경재배에 관한 연구와 고도화는 다각도로 이루어지고 있고 노동력 절감과 생산성 향상 효과를 가져오고 있다. 그러나 아쿠아포닉스 농법에 대한 논문은 10건 이내이며 R&D 연구개발은 2건, 관련 연구를 진행하는 기관은 경기도농업기술원뿐이다. 연구된 어종은 미꾸라지, 잉어, 메기, 동자개, 금붕어로 대부분 양식이 위주이다. IoT를 활용한 연구는 2건이나 1건은 수조에 물이 차는 시간에 대한 연구이고, 다른 연구는 금붕어로 상추를 재배하고 오렌지보드를 활용하였다. 경기도농업기술개발원에서는 동자개, 메기 어종으로 상추, 샐러리, 비트를 실험하여 수온, pH, EC, DO, BOD 등을 측정하였고 양액재배 대비 상추는 55~75%의 생육을 보였다고 하였다[8][9]. 해외에는 아쿠아포닉스에 관한 논문과 서적이 다양하고 가정용 제품도 판매되고 있다[10][11].

스마트팜은 많은 곳에서 연구되고 있지만, 아쿠아포닉스에 관한 연구는 활발하지 않다. 다양한 어종과 작물에 관한 아쿠아포닉스 연구가 필요하며, IoT 기술을 이용한 시스템 개발로 정확한 데이터를 수집·분석하여 생육환경에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 소규모 아쿠아포닉스 시스템을 구성하여 열대어 중 가장 많이 사육되는 구피를 실험어로 채택, 상추를 실험 작물로 하여 수경재배와 비교 실험하였다. 아쿠아포닉스에 대한 관리를 위해 IoT기술을 적용하여 열대어 적용 가능성에 대한 연구를 진행하였다.

II. 이론적 배경

1. 수경재배

수경재배는 사용한 양액을 다시 사용하지 않고 폐기하는 비순환식 방식과 배양액을 재사용하는 순환식 방식으로 분류된다. 양액의 폐수는 녹조 현상, 지하수 오염의 환경문제를 일으킨다. 네덜란드는 수경재배의 95%가 순환식 수경재배를 도입하고, 일본에서는 수경재배의 45% 이상이 순환식 수경재배를 도입하였다[12]. 그러나 국내 농가의 대부분은 비순환 수경재배를 채택하고 있고, 친환경 순환식 수경재배는 대형 온실이나 교육기관을 중심으로 채택하고 있어서 그 보급률은 5%에 머무른다[13]. 도입을 확대하기 위해서 순환식 수경재배 장치의 국산화 개발이 필요하다.

2. 아쿠아포닉스

물고기를 양식할 때 발생하는 배설물, 사료 잔여물 등이 니트로소모나스와 같은 박테리아에 의해 분해되어 암모니아, 아질산염으로 변환된다[14]. 이 사육수를 바로 폐수로 배출하면 인근 하천의 어류에게 유해한 영향을 끼친다. 아쿠아포닉스(Aquaponics)는 물고기 양식(Aquaculture)과 수경재배(Hydroponics)의 합성어로 사육수를 작물 재배에 이용하여 식물이 양분으로 질소 등을 흡수하고, 여과된 깨끗한 물은 다시 수조로 돌아가는 방식이다. 수경재배는 양액을 공급하고 양분의 농도가 떨어지면 기존 양액은 버리고 새로운 양액을 계속 공급해줘야 하는 반면에, 아쿠아포닉스는 폐수를 순환하여 재사용하기 때문에 환경문제를 최소화하고, 비료나 농약도 사용되지 않아 친환경적이고 지속가능한 농법이다. 또한, 물 소비량이 일반농장의 10분의 1에 불과하다는 장점이 있어 물이 부족한 남미, 중동 국가에서 활발하게 이용되고 있다.

3. 관상어산업

'2018 반려동물보고서'에 따르면 반려동물을 기르는 가구는 조사대상 1,700명 중 25.1%를 차지하여 4가구 중 1가구가 반려동물을 기르는 것으로 나타났다. 현재는 사육하지 않지만, 과거에 길러본 적이 있다는 답변은 39.2%로 나타났다. 양육 중인 반려동물은 1위가 개

75.3%로 가장 많았고, 고양이는 31.1%, 금붕어·열대어는 10.8%, 햄스터 2.8% 순이다[15].

2017년 관상어 산업육성 시행계획에 따르면 2014년 국내 관상어 산업 규모는 4,100억 원으로 관상어 애호가 증가에 따라 시장이 확대되고 있고, 온라인 거래와 대형마트 거래 등 유통구조가 다변화되는 추세이다. 국내 관상어 대부분이 수입에 의존하고 있으며, 수출실적은 매년 감소하고 있다[16].

관상어는 품질에 따라 수억 원까지 거래되어 식용어종에 비해 훨씬 높은 부가가치를 지니고 있으며, 선진국을 중심으로 연평균 7-8% 성장하고 있다. 작은 공간에서 공기정화와 습도조절, 인테리어 효과가 있으며 반려어로서 생태계 관찰의 교육효과와 심리적 안정 효과가 있다. 소득향상에 따라 취미생활로 수요가 지속적으로 상승하고 있다. 수입대체용 고급관상어 품종 확보를 위해 개량 및 연구개발을 지원하고 있으나 양식어종에 대한 R&D에 비해 규모가 작다.

III. 본론

1. 아쿠아포닉스 시스템

어항과 화분, 여과기, 식물생장용 LED, 기포발생기, 수중 히터, 라즈베리파이, 아두이노, 센서, 워터펌프 등으로 아쿠아포닉스 시스템을 구성하였다.

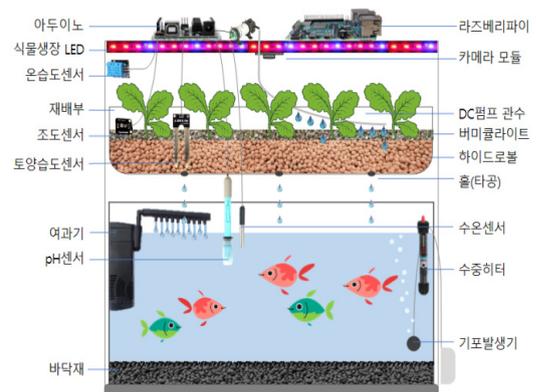


그림 1. 아쿠아포닉스 시스템 구성도

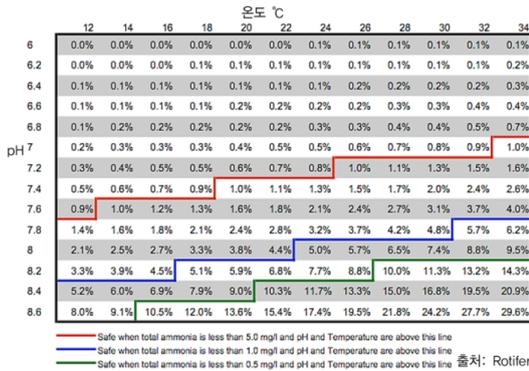


그림 3. 온도, pH와 암모니아 농도

용존산소량(DO)은 물 속에 녹아있는 산소량으로 수온이 올라갈수록 산소포화도가 낮아져 용존산소량이 낮아진다. 용존산소량의 부족은 탄소와 결합할 산소(O₂)의 부족을 불러와 수소이온(H⁺)의 부족을 초래한다. 암모니아는 H⁺와 결합하여 암모늄의 형태로 존재하는데 결합할 수소이온이 부족해서 같은 수온에서 암모니아의 양이 차이가 나게 된다. 즉, pH와 온도가 올라가면 독성이 강한 암모니아의 양이 많아지므로 약산성의 수질유지가 중요하다[23].

3. 데이터 수집

3.1. 재배방식별 측정

아쿠아포닉스와 수경재배에 씨앗을 암면에 발아하여 키운 청치마 상추 5개, 적치마 상추 5개를 각각 식재하고 각 재배방식별로 4개 모종 잎의 엽장, 엽폭, 엽중량, 엽수를 7일 간격으로 5회, 버니어캘리퍼스 및 정밀저울로 측정하였다. 재배방식별로 코드번호를 지정하고, 모종과 각 잎에 개체번호를 지정하였다.

3.2 상추 측정 데이터

재배방식별로 모종과 잎에 코드 번호를 부여하고 각 잎의 길이, 너비, 수, 중량을 측정하였다. 길이와 너비는 버니어캘리퍼스로 측정하고, 중량은 각 잎이 최대로 성장했다고 판단되었을 때 잎을 따서 정밀저울로 측정하였다.

표 1. 상추 측정 데이터(2019.10.22.)

재배방식	품종	엽수	잎 코드	엽장(mm)	엽폭(mm)
아쿠아포닉스	청치마	8	A1-01	48.8	31.0
			A1-02	56.0	33.0
			A1-03	42.0	23.0
			A1-04	30.0	19.5
			A1-05	85.0	48.7
			A1-06	84.0	42.0
			A1-07	93.0	42.2
			A1-08	82.5	40.0
	청치마	9	A2-01	80.5	37.0
			A2-02	96.0	42.0
			A2-03	51.0	28.0
			A2-04	13.5	8.0
			A2-05	67.0	43.0
			A2-06	92.4	41.0
	적치마	8	A3-01	85.4	40.0
			A3-02	32.0	36.0
			A3-03	91.0	43.4
			A3-04	95.0	44.5
			A3-05	110.6	63.0
	적치마	6	A4-01	90.7	50.0
			A4-02	98.0	61.0
			A4-03	92.5	53.3
			A4-04	51.0	28.3
			A4-05	83.0	48.0
A4-06			58.0	35.0	

3.3 센서 데이터 수집

아쿠아포닉스 시스템에서 온습도 센서, pH센서, 수온센서, ppm을 측정하여 기간 내 생물환경의 평균값과 추이를 살펴보았다. 수집한 데이터 값을 시각화하였다. 날씨와 에어컨, 히터의 영향을 받았다. 기간 내 평균 pH는 7.91이고, 평균 ppm은 163, 평균 수온은 22.8℃, 평균 습도는 55.9%로 측정되었다. 수경재배의 상추와 비교해서 아쿠아포닉스 상추의 성장 속도가 느렸는데 pH가 식물의 영양분 가용성에 영향을 끼치기 때문이다. 상추의 최적 pH는 6.0인데, pH 7.91 내외의 환경에서는 철, 칼슘, 망간, 붕소, 구리, 아연 등 영양소의 흡수율이 떨어진다. 또한, 작물에 비해 구피의 어체수가 적어서 상추가 필요한 만큼의 양분을 만들어내지 못하였다. 수경재배 시스템의 평균 pH는 7.19이고 온도는 22.3℃, TDS는 790ppm이다.

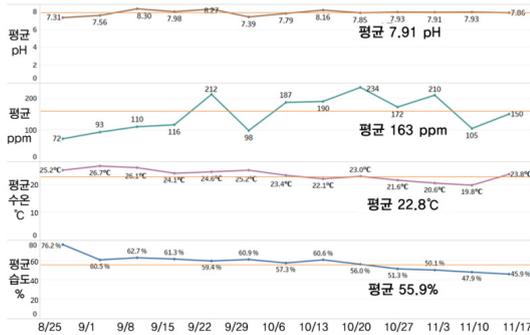


그림 4. 센서를 이용한 생육환경 데이터 수집

4. 재배방식에 따른 성장 비교

수경재배와 아쿠아포닉스의 각 상추 엽장, 엽폭의 합을 비교하였다. 7일간 5회 측정된 수치 중에 각 잎별로 최대로 성장했을 때의 측정값을 기준으로 계산하였다. 수경재배 상추의 각 잎 길이의 합은 7,302mm이고, 아쿠아포닉스 상추의 엽장의 합은 3,107mm로 아쿠아포닉스 상추가 수경재배 상추의 약 65% 정도의 수준을 보였다. 잎의 넓은 엽폭의 합계는 수경재배의 상추가 3,107mm, 아쿠아포닉스 상추가 2,356mm로 수경재배의 약 76%의 성장률을 보였다. 육안으로도 수경재배 잎이 더 길게 자랐다.



그림 5. 재배방식별 엽장, 엽폭 비교

수경재배 상추의 잎 길이의 평균은 119.7mm, 아쿠아포닉스는 96.22mm로 수경재배의 80%이고, 수경재배의 엽폭의 평균은 50.93mm, 아쿠아포닉스의 엽폭 평균은 48.08mm로 수경재배의 94%의 성장률을 보였다. 엽장, 엽폭의 평균은 엽장, 엽폭의 합계보다 차이가 적었고, 수경재배가 새 잎이 많이 나와서 엽수가 증가함으로 인해 엽장의 합계에서는 차이가 컸다.

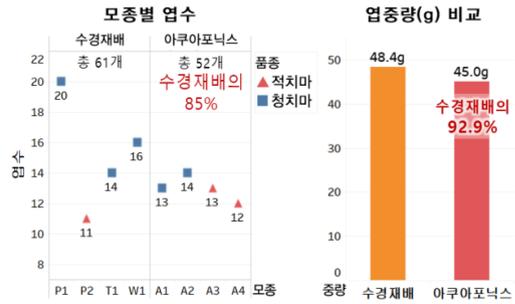


그림 6. 재배방식별 엽수(좌), 엽중량(우) 비교

재배방식별 잎의 수는 수경재배 61개, 아쿠아포닉스 52개로, 수경재배보다 약 85%의 수준을 보였다. 재배방식별 엽중량의 합계는 수경재배가 48.4g, 아쿠아포닉스가 45g으로 수경재배의 약 92.9%로 나타났다. 잎이 수경재배 잎보다 두껍고 단단해서 엽수의 차이보다 중량은 비슷한 것으로 판단되었다.

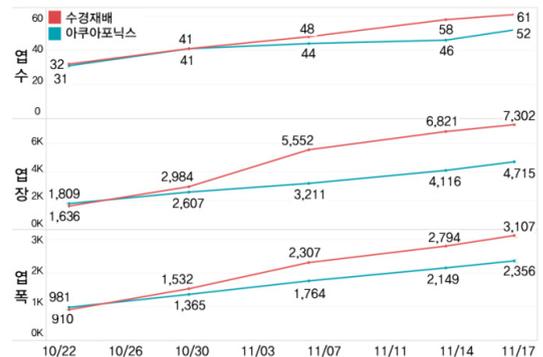


그림 7. 날짜별 재배방식의 엽폭, 엽장, 엽수 추이

날짜별 엽장, 엽폭, 엽수 추이는 위 그림과 같다. 초기에는 엽장, 엽폭, 엽수의 양상이 비슷했는데 시간이 지날수록 수경재배와의 폭이 늘어났으나 후반에는 성장률의 폭이 유지되는 현상을 보였다. 수경재배의 엽수는 190.6%의 성장률을 보였으며, 아쿠아포닉스의 엽수는 167.7%의 성장률을 보였다. 엽장은 수경재배 상추가 446.3%, 아쿠아포닉스가 260.6%의 성장률을 보였으며, 엽폭은 수경재배가 341.4%, 아쿠아포닉스가 240.2%의 성장률을 나타냈다. 엽장, 엽폭, 엽수의 성장률은 수경재배 방식이 아쿠아포닉스 시스템으로 재배한 상추보다 더 좋은 결과값을 보였으나, 수경재배 방

식의 상추는 잎이 얇고 여렸다.

4.1 재배상식에 따른 비교분석

재배방식별 엽수, 엽장, 엽중량 값을 SPSS 프로그램을 이용하여 다변량 분산 분석(MANOVA)을 실시했다. 수경재배 및 아쿠아포닉스의 재배방식과 청치마 적치마 2개의 상추 품종에 따라서 엽장, 엽폭, 엽중량이 통계적으로 차이가 있는지 검증하였다.

표 2. 개체 간 효과 검정

소스	종속변수	평균제곱	F	유의확률
수정된 모형	엽장	7,829.333	5.487	0.002
	엽폭	408.325	1.613	0.191
	엽중량	0.544	3.043	0.032
절편	엽장	915,699.327	641.764	0.000
	엽폭	190,496.640	752.562	0.000
	엽중량	52.956	296.321	0.000
재배 방식	엽장	7,527.032	5.275	0.024
	엽폭	0.167	0.001	0.980
	엽중량	1.124	6.288	0.014
품종	엽장	7,706.587	5.401	0.022
	엽폭	931.145	3.679	0.058
	엽중량	1.036	5.800	0.018
재배방식 *품종	엽장	222.534	0.156	0.694
	엽폭	170.002	0.672	0.414
	엽중량	0.316	1.767	0.187

재배방식에 따라서 엽폭, 엽중량의 차이는 통계적으로 유의했으며 품종에 따라서 엽장과 엽중량의 차이가 유의한 것으로 나타났다. 재배방식과 품종을 동시에 고려하면 경우 엽장, 엽폭, 엽중량이 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

5. 개발모형에 대한 결론

재배방식별로 경제성, 생산성, 활용가능성, 지속가능성에 대해서 표적집단면접법(FGI)를 통해 5점 리커트 척도로 정성적인 평가를 수행하였다.

정성적으로 열대어 아쿠아포닉스와 수경재배를 비교하는 한편 아쿠아포닉가 보완해야 하는 점에서 대해서 전반적으로 논의하였다. 표적집단에는 스마트팜관련 교수 6명, 스마트팜 관련 석사학위 재학생 20명, 스마트

팜 관련 연구자 3명 총 29명이 정량적 평가에 참여하였다.

표 3. 재배방식별 정성적 평가(5점 척도 평균)

항목	수경재배	아쿠아포닉스	평가지표
경제성	3.8	4.2	투입 대비 산출량 등
생산성	4.1	3.1	성장률, 시장성
활용 가능성	2.9	3.9	심미적 활용, 가정적용 등
생산 작물 품질	3.5	3.9	잎의 경도, 신선도 유지
지속 가능성	3.2	3.8	자원순환, 친환경

경제성에는 수경재배와 제시한 아쿠아포닉스의 재배 과정에 있어서 필요한 자원의 투여 대비 산출의 경제성에 대한 정량적 비교를 수행하였으며 작물 재배의 목적에 따라서는 경제성의 경우 양액 등의 투여가 필요 없는 아쿠아포닉스가 높은 곳으로 나타났으며 가정용 관상어의 활용 등에서 활용 가능성, 생산 작물 품질 및 지속가능성도 아쿠아포닉스가 높았다. 하지만 생산성의 경우 수경재배가 높은 것으로 전문가들은 판단했다.

아쿠아포닉스 재배방식은 양액이나 농약을 구매할 필요가 없고, 물의 재순환으로 용수가 절약되어 경제성이 우수하다. 생산성에 대한 측면에서는 수경재배의 양액이 사육수에 비해 용존 영양분의 농도가 높아서 성장률이 우수하며 아쿠아포닉스는 77%의 수준으로 양호한 편이다. 생산 작물의 품질 특히 잎의 경도 측면에서는 아쿠아포닉스의 잎이 더욱 단단하여 우수함으로 판단하였다. 아쿠아포닉스 업체인 서유채에서는 아쿠아포닉스로 기른 상추가 일반 유기농 상추에 비하여 더 오랫동안 신선도를 유지한다. 식성에 따라서 연한 상추를 선호하기도 하지만 아쿠아포닉스로 재배한 상추가 시장에서는 고품질을 인정받아 경쟁력을 가지고 있다.

수경재배는 화학적인 양액을 사용하여 재배하고 아쿠아포닉스 방식은 물고기의 유기물이 천연비료로 이용되고 어떤 인공적인 합성물질도 사용하지 않기 때문에 환경에 대한 부하를 경감시키므로 친환경적이다. 또한, 어류 양식의 폐수를 정화시켜 물을 재사용한다는 점에서 수자원을 효율적으로 활용하므로 지속가능성이 우수하다.

재배방식별 성장률에 대해 정량적으로 평가하였다.

수경재배 상추 성장률을 100% 기준으로 하여 아쿠아포닉스의 엽장, 엽폭, 엽수, 엽중량 성장률을 비교하였다. 수경재배에 비해 아쿠아포닉스의 엽장 성장률은 58.4%이며, 엽폭의 성장률은 70.4%, 엽수의 성장률은 88.0%, 엽중량은 92.9%로 나타났으며, 이를 종합한 평균 성장률은 수경재배의 77.4%로 나타났다.

표 4. 재배방식별 성장률 정량적 평가

평가항목	수경재배	아쿠아포닉스	비고
엽장 성장률	446.3%	260.6%	
	100.0%	58.4%	(백분율)
엽폭 성장률	341.4%	240.2%	
	100.0%	70.4%	(백분율)
엽수 성장률	190.6%	167.7%	
	100.0%	88.0%	(백분율)
엽중량	48.4g	45.0g	
	100.0%	92.9%	(백분율)
총 성장률	100.0%	77.4%	(백분율)

아쿠아포닉스 재배방식의 상추가 수경재배보다 성장률이 낮은 원인은 사육수의 미네랄 농도, 즉 경도(GH)가 163ppm으로 수경재배의 경도보다 낮고 상추의 적합 경도인 580~850ppm보다 낮기 때문이다. 구피는 경도가 140~210ppm인 중수가 최적의 환경으로 사육수를 상추의 최적 TDS 범위인 560~840ppm만큼 올라가게 하면 구피가 살기 어려운 초경수의 물이 되므로 경도를 맞춰주지 못하였다. 또한, 사육수의 산도가 pH7.9 내외로 상추의 최적 산도 pH6.0~7.5에 비해 높아 질소, 인, 칼슘 등에 대해 영양분의 흡수력이 낮아서 아쿠아포닉스의 상추가 성장하는 데에 장애요인이 되었다.

IV. 결론 및 향후 연구

1. 결론 및 논의

아쿠아포닉스 방식으로 재배한 상추의 엽장과 엽폭은 수경재배의 70.5%이고, 엽수는 85%로 사이즈와 개수는 적지만, 중량은 92.9%로 거의 근접한 무게를 보였다. 이를 종합한 아쿠아포닉스를 이용한 상추 재배는

수경재배의 방식보다 77.4%의 성장률을 나타냈다. 사육수 내의 양분 농도가 낮고 pH가 높아 성장률이 약간 저조하였다. 우리나라 수돗물은 탄산 경도가 0이 아니며, pH를 높이려면 수돗물로 환수하면 안되고, 로필터를 이용한 정수물과 미네랄제를 투입하여야 하는데 여건상 그러하지 못하였다. 양분 농도에 대한 솔루션으로는 구피 사육 밀식도를 높여서 유기물을 더 많이 생성하면 성장률이 높아질 것으로 사료된다. 추후 연구를 통해 구피에게 부정적인 영향을 주지 않으면서 pH를 높이는 방안을 연구하면 더욱 성장률이 높아질 것이다. 또한, 측면여과기를 저면여과기로 대체하면 유기물을 식물에게 보다 많은 양분을 공급할 수 있다. 소규모, 가정용 아쿠아포닉스뿐만 아니라 상업적으로도 열대어를 사육하면서 생육 조건을 잘 맞춰준다면 고품질 채소 재배가 가능하므로 이에 대한 추가적인 연구도 진행되어야 한다.

1인 가구 및 가정의 반려어(Aqua-pet)로서 정서안정을 효과를 가지며 채소를 재배할 수 있는 가정용 아쿠아포닉스는 앞으로도 국내외 업체들의 많은 주목을 받고 다양한 제품들이 개발될 것이다.

향후 다른 열대어종과 거북이, 가재 등에 대한 아쿠아포닉스 적용 가능성과 상추 외에 바질, 새싹채소 등 다양한 채소, 과일, 허브, 꽃에 대해 실험이 필요하다. 해외에서는 구조물을 튼튼하게 하여 바나나, 굴도 아쿠아포닉스로 재배한다[24]. 또한, 해당 작물에 대해 어류의 어종, 몇 마리를 사육해야 수경재배와 비슷한 성장률을 보이는 지에 대한 연구도 진행되어 작물별, 어종별 아쿠아포닉스 적정 개체수 등 사육 기준이 확립되어야 한다.

또한, 경기도농업기술원 연구보고서와 다른 논문과 같이 식물체의 엽장, 엽폭, 엽수, 엽중량뿐만 아니라 어류의 체장, 체중, 식물체의 뿌리길이, 수확량, 함유율, 어류의 체내 양분 및 증감속 변화, 사육수의 용존 물질 변화, 수질 분석, 작물의 영양분 분석 등이 이뤄진다면 더욱 의미 있는 결과와 화학적, 생물학적 인과관계를 파악할 수 있을 것이다[25-27].

수중 질산염, 아질산염, 암모니아를 측정하는 센서나 측정기가 개발되면 정확한 사육수 상태를 확인할 수 있고, 아두이노에 연결 가능한 EC센서, DO센서, ORP센

서가 개발되면 재배환경을 현재보다 세밀하게 측정할 수 있어 보다 과학적인 연구가 가능하다.

2. 제언 및 향후 연구

귀농, 귀촌인들은 아쿠아포닉스 체험농장으로 어린이나 청소년들에게 물고기 밥 주기, 수확하기 등 체험과 농촌 숙박, 농촌 관광, 채소 직거래 등으로 연계한 수익 창출이 가능하다. 기업에서는 가정용 아쿠아포닉스 재배 DIY 키트를 개발하여 판매가 가능하다. 또한, 아쿠아포닉스 관련한 도서가 해외에는 다수 있으나 국내에는 전무하므로 빠른 시일 내에 아쿠아포닉스 관련 도서의 발간이 필수적이다.

국내외에서 지속 가능한 미래농업으로 주목을 받고 있는 아쿠아포닉스 농법에 대해 농림축산식품부, 해양수산부, 국립수산물품질관리원 등 관련 기관에서 아쿠아포닉스에 대한 많은 R&D지원과 관련 정책 수립으로 외국의 스마트 아쿠아포닉스 기술에 뒤처지지 않는 국내 아쿠아포닉스 기술이 개발되어야 한다. 아쿠아포닉스의 기술요소 특성상 정보통신기술(ICT), 생명공학기술(BT), 나노기술(NT), 수산양식기술 등 분야의 교류가 필수적이므로 연구기관 간의 협력과 전략이 매우 중요하다.

해양수산부에서 어가의 소득 증대를 위해 친환경 스마트 수산 양식산업을 육성한다. 기존 양식산업의 한계점을 극복하고 데이터 기반의 스마트 양식과 수질환경 모니터링 및 빅데이터를 활용한 지능화 등의 스마트 양식기술 개발을 추진하고 있다[28]. 추후에는 아쿠아포닉스를 포함한 스마트 양식 시스템 개발을 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] Jonathan Foley, *The other inconvenient truth*, 2015.
- [2] WWF-SCP, FAO, *Greenhouse Gas Emissions from Agriculture, Forestry and Other Land Use*, 2016.
- [3] 환경부, *수자원장기종합계획 2001~2020(4차-3차 보완)*, p49-50, 2018.
- [4] <https://m.blog.naver.com/seouchae/22106291>
- [5] FAO, *Small-scale Aquaponics Food Production - Integrated fish and plant farming*, 2014.
- [6] Ministry of agriculture, *Nature and Food Quality of The Netherlands, Agriculture, Nature and Food: Valuable and Connected - The Netherlands as a Leader in Circular Agriculture*, 2018.
- [7] 감동환, *새싹작물 재배용 소형 스마트 팜 시스템 연구*, 성균관대학교, 박사학위논문, 2018.
- [8] 김유아, 전태병, 장옥주, 박병준, 강학회, “아쿠아포닉스 기술을 이용한 친환경 향노화 제품 개발,” *대한화장품학회지*, Vol.45, No.3, pp.307-317, 2019.
- [9] 정병홍, 김성철, *간편한 채소 재배가 가능한 가정용 아쿠아포닉스 재배장치의 개발*, 농림축산식품부, 그린산업(주), 서울대학교, 2018.
- [10] M. Ulum Haryanto, A. F. Ibadillah, R. Alfita, K. Aji, and R. Rizkyandi, “Smart aquaponic system based Internet of Things (IoT).” *Journal of Physics: Conference Series*, Vol.1211, Issue 1, 2019.
- [11] Baraa Abd Al-Zahraa Naser, Aajam Laith Saleem, Ali Hilal Ali, Salam Alabassi, and Maher A. R. Sadiq Al-Baghdadi, “Design and construction of smart IoT-based aquaponics powered by PV cells,” *International Journal of Energy and Environment (IJEE)*, Vol.10, Issue 3, pp.127-134, 2019.
- [12] 이한철, *순환식 수경재배의 필요성 및 당면과제*, 한국원예학회, 2014.
- [13] <http://www.hortitimes.com/news/articleView.html?idxno=20963>
- [14] <https://blog.naver.com/maxilla/30184211695>
- [15] KB경영연구소, *반려동물보고서-반려동물 연관산업 현황과 양육실태*, 2018.
- [16] 해양수산부 양식산업과, *2017년 관상어 산업육성 시행계획*, 2016.
- [17] 이현진, 윤범희, 백정현, 최은영, “아쿠아포닉 시스템에서 인공배지가 질산화작용에 미치는 영향,” *한국농업기계학회*, Vol.24, No.1, p.549, 2019.
- [18] 코랄피시 편집부, 황세정, *처음 시작하는 열대어 기르기*, 그림홈, 2016.
- [19] 김영민, *열대어의 보석 구피*, 씨밀레북스, 2009.

- [20] 농촌진흥청, *농업기술길잡이 160-상추*, 2018.
- [21] <https://www.emporiumhydroponics.com>
- [22] <https://blog.naver.com/jdekim7/221413958435>
- [23] <https://blog.naver.com/gumlife/221564131916>
- [24] <https://ecotechservice.tistory.com/71>
- [25] 하현주, *친환경 농수산 융합 생산 시스템 (Aquaponics) 기술 개발을 위한 기초 연구*, 전남대학교, 석사학위논문, 2013.
- [26] 하현주, 정관식, “아쿠아포닉스의 국내 도입가능성에 관한 연구,” *수산해양교육연구*, 제29권, 제4호, 통권 99호, pp.1225-1234, 2017.
- [27] 경기도농업기술원, 김진영, 김대균, 심상연, 이원석, 서명훈, 이수연, 이동훈, *아쿠아포닉스 채소생산기술 개발 시험연구보고서*, pp.400-408, 2018.
- [28] 국회입법조사처, 유제범, *스마트 양식산업의 현황과 향후과제*, 2019.

저 자 소 개

김 경 현(Gyeong-Hyeon Kim)

정회원



- 2018년 2월 : 원광대학교 정보전자 상거래학과(경영학사)
- 2020년 2월 : 전주대학교 스마트 Agro ICT융합학과(공학석사)

〈관심분야〉 : 아쿠아포닉스, 데이터 분석, 웹 개발, 사물인터넷

한 동 옥(Dong-Wook Han)

정회원



- 2004년 2월 : KAIST(경영공학 박사)
- 2004년 3월 ~ 2006년 2월 : 삼성 SDS
- 2006년 3월 ~ 현재 : 전주대학교 스마트미디어학과 교수

〈관심분야〉 : 스마트팜, 빅데이터 분석, 인공지능