

기자회견 자료(2022.02.08.)

‘한국인의 밥상’ 쌀·무·배추에서 ‘발암물질·생식 독성’ 남세균 독성 물질 검출 결과 발표 기자회견

낙동강·금강 주변 노지 재배 작물 마이크로시스틴 검출
프랑스 안전 기관 생식 독성 가이드 라인의 2~6배, 최대 11배가량 높을 거로 추산
간신장 독성 실린드로스퍼몹신 지하수에서 검출, 국내 첫 사례

/ 일 시 : 2022년 2월 8일(화) 오전 10시 30분
/ 장 소 : 환경운동연합 회화나무 홀

공동 주최
더불어민주당 양의원영 의원·이수진 의원(비례)·대구환경운동연합
〈오마이뉴스〉·〈뉴스타파〉·사) 세상과 함께 환경운동연합

※ 문의 : 김종원 환경운동연합 활동가(010-6837-1452), 정수근 대구환경운동연합 국장
(010-2802-0776), 임희자 낙동강네트워크 공동집행위원장(010-8267-6601), 이철재 환경운
동연합 생명의 강 특위 부위원장(010-3237-1650)

※ 코로나 19에 따라 참석자 방역 수칙을 준수해서 진행하며, 온라인(유튜브)으로 중계합니다.

■ 기자회견 순서

※ 진행 : 이철재 환경운동연합 생명의 강 특별위원회 부위원장

I. 기자회견 취지 및 인사말

- 양이원영 더불어민주당 국회의원
- 이수진 더불어민주당 국회의원(비례)
- 홍종호 서울대 환경대학원 교수 · 환경운동연합 공동대표

II. 조사 방법 · 결과 및 시사점

- 곽상수 대구환경운동연합 운영위원장

III. 현황 브리핑

- 우리나라 조류경보제의 문제점 (최승호 <뉴스타파> PD)
- 낙동강 상황 (임희자 낙동강네트워크 공동집행위원장)

IV. 기자회견문 낭독

- 안숙희 환경운동연합 국장

V. 질의응답

■ 자료집 순서

I. 남세균 독성 물질 : 마이크로시스틴 및 실린드로스퍼몸신		2쪽
II. 조사(분석) 방법 및 결과		6쪽
III. 분석 결과에 따른 시사점		10쪽
IV. 우리나라 조류경보제의 문제점		21쪽
V. Q&A		28쪽
VI. 기자회견문		31쪽

I . 남세균 독성 물질 : 마이크로시스틴 및 실린드로스퍼몹신

1. 남세균(Cyanobacteria)

1-1. 녹조라떼가 바로 ‘남세균’

- 1) 2012년 7월 낙동강에서 ‘녹조라떼’라는 신조어가 생길 정도로 극심한 ‘독성 남조류(Blue-Green Algae)’ 대규모 발생, 거의 매년 봄부터 가을까지 대규모 녹조라떼 확산
- 2) 학계는 남조류를 하나의 독립된 세균인 남세균(Cyanobacteria)으로 구분
(1) 광합성을 통해 산소를 생성하는 독특한 세균(bacteria)이며, 진핵생물인 조류(algae)와는 구별(이승준, 2021a)
- 3) 남세균 생성 독성 물질이 시아노톡신(Cyanotoxin), 이번에 검출된 독성 물질은 시아노톡신 종류인 마이크로시스틴(Microcystin)과 실린드로스퍼몹신(Cylindrospermopsins)

<그림 1> 남세균 독소의 독성 및 작용

Toxins	Toxicity (LD ₅₀ ^a , µg kg ⁻¹)	Activity	Genera
Microcystins	50~300	Protein phosphatase 1 and 2A inhibition Potent tumor promoter	<i>Microcystis</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Anabaenopsis</i>
Nodularins	50	Protein phosphatase 1 and 2A inhibition Potent tumor promoter	<i>Nodularia</i>
Cylindrospermopsins	2100 (24h) 200 (5~6d)	Necrotic damage in the liver, kidneys, stomach, intestine, and white blood cells Protein synthesis inhibition	<i>Cylindrospermopsis</i>
Anatoxin-a	375	Neuromuscular junction blocking Death by respiratory failure	<i>Anabaena</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Aphanizomenon</i>
Anatoxin-a(s)	20	Salivation, muscle weakness, convulsions Death by respiratory paralysis.	<i>Anabaena</i>
Saxitoxins	8~10	Block sodium channels	<i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Lyngbya</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Planktothrix</i>

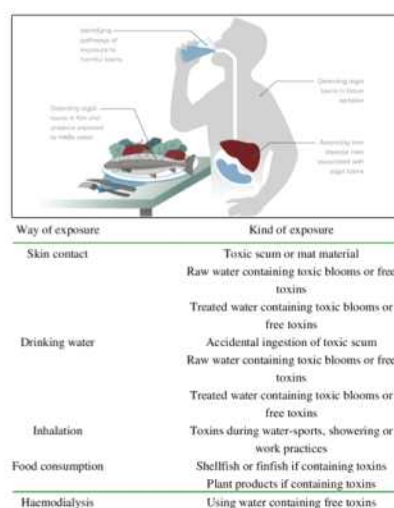
출처 : 박호동. 2016. “시민의 식수 낙동강 녹조 안전한가? 우리의 해결 방안은?”

1-2. 남세균 독성(Cyanotoxin)의 인체 유입 경로

- 1) 남세균 독성은 음용만이 아니라 피부접촉, 레크레이션 활동과 강 주변에서 공기 중 미세먼지와 같은 액체 미립자(에어로졸) 형태로 인체 유입
- 2) 미국에서는 5 km까지 에어로졸 영향 사례 분석, 남세균 면적이 1% 증가 하면 비알코올성 간질환이 0.3% 증가 연구(<뉴스타파>, 2021).
- 3) 먹거리를 통한 인체 유입
 - (1) 중국 윈난성 텐츠 호(Dian Lake)의 토탈 마이크로시스틴(MCs) 함유량($\mu\text{g/L}$)이 120 / 600 / 3,000일 때 벼 모종(Seedling)에 2.94 / 5.12 / 5.40의 MCs 축적(Chen et al. 2004, Prieto et al. 2011)¹⁾, 연구 결과 뿌리채소, 잎채소 등에도 축적
 - (2) 2016년 국립환경과학원, ‘국내 붕어 남세균 독성 축적 확인’(김기범, 2016), 2017년 낙동강 하류 지점 강준치, 송어, 농어 내장에서 마이크로시스틴 검출(안대훈, 2017) 등 국내뿐 아니라 해외 연구 사례 다수
 - (3) 미꾸라지와 같이 통으로 갈아서 먹는 작은 물고기의 경우 위험성이 더 높을 수 있음(2022.02.04. 오하이오주립대 이지영 교수 인터뷰)

<그림 2> 남세균 독성(Cyanotoxin) 인체 유입 경로

Cyanotoxin의 유입경로



출처 : 이승준. 2021b. “남세균 대발생(녹조)이 환경 및 건강에 미치는 영향”

1) Jiyoung Lee-Seungjun Lee-Xuewen Jiang(2017)에서 재인용

2. 마이크로시스틴(Microcystin) 인체 영향²⁾

2-1. 남세균 생성 생물독소

- 1) 단백질 인산가수분해 효소의 억제를 유발하며, 세포 골격 변화, 산화적 스트레스 및 세포자멸사를 초래.
- 2) 간에 미치는 효과 : 간 비대, 만성 염증, 간세포 괴사
- 3) 폐에 미치는 효과 : 폐포 격벽이 두꺼워짐, 세포연접의 붕괴, 폐포 붕괴

<표 1> 주요 기관 마이크로시스틴의 건강 영향 일일 허용량

기관 (연도)	건강 영향	일일 허용량($\mu\text{g/kg-day}$)	식수 수치($\mu\text{g/L}$)
OEHHA (2021)	정자 수 감소	0.0018	0.03(3개월까지)
OEHHA (2012)	간 병변	0.0064	—
ANSES (2019)	정자 수와 질의 감소, 비정상 정자 증가	0.001	—
USEPA (2015)	간 병변	0.05	0.3(유아, 10일) 1.6(아이/어른, 10일)
WHO (2020)	간 손상	0.04	1 (일생)

출처 : CA EPA OEHHA, 2021(요약)

※ OEHHA : 캘리포니아주 환경보호국(EPA) 환경건강위험평가소 / ANSES : 프랑스 식품환경노동위생안전청 / USEPA : 미국 연방 환경보호청 / WHO : 세계보건기구

- 4) 혈청에 미치는 영향 : 아미노전이효소 증가, 전체 단백질 감소
- 5) 신경계에 미치는 영향 : 인지 장애, 기억 관련 뇌 영역 염증
- 6) 생식 및 발달 효과 : 정자 수와 운동성의 감소, 비정상적인 정자 형태학, 고환의 조직학적 병변, 고환 위축, 혈청 호르몬 농도의 변화, 난소에 대한 부정적인 영향
- 7) 발암성 : 국제암연구기관(IARC, 2010)은 쥐에서 종양 전의 병변 축진을 보여준 연구를 바탕으로 마이크로시스틴-LR을 “인간에게 발암 가능성이 있는 물질”로 분류

2) 주요 내용은 캘리포니아주 EPA OEHHA 보고서에서 인용(CA EPA OEHHA, 2021)

3. 실린드로스퍼몹신(Cylindrospermopsins)의 인체 영향³⁾

3-1. 시아노박테리아 대발생 전후로 지표수에 존재할 수 있어

- 1) 신장 영향 : 신장 확대, 조직학적 변화, 근위관의 변화
- 2) 간 영향 : 간 확대, 상당한 괴사, 염증, 형태학적 및 조직학적 변화
- 3) 생화학적 영향 : 혈청 내 간 효소 수치 증가, 콜레스테롤 및 트라이글리세라이드 수치 감소 / 유전독성 및 발암 가능성

<표 2> 주요 기관 실린드로스퍼몹신의 건강 영향 일일 허용량

기관(연도)	건강 영향	일일 허용량 ($\mu\text{g/kg-day}$)	식수 수치($\mu\text{g/L}$)
OEHHA (2021)	상대 간 무게 증가	0.017	0.3 (3개월까지)
OEHHA (2012)	상대 신장 무게 증가	0.033	--
ANSES (2019)	상대 간과 신장 무게 증가	0.14	--
USEPA (2015)	상대 신장 무게 증가	0.1	0.7 (유아, 10일) 3 (아이/어른, 10일)
WHO (2020)	상대 신장 무게 증가	0.03	0.7 (일생)

출처 : CA EPA OEHHA, 2021(요약) /※ 미국 EPA의 레저 활동 기준은 $15\mu\text{g/L}$

4. 건강 영향에 대한 일일 허용량 기관별 차이 의미(Q&A 참조)

4-1. 작물의 재배 방법 및 시기, 식품 가공, 섭취량, 요리법 등을 고려하여 가이드 라인은 각 국가별 차이가 있을 수밖에 없음.

- 1) 현재까지 진행된 연구 결과를 이용하여 가이드 라인 설정
- 2) WHO, 프랑스, 미국 EPA 등 이런 부분들을 고려하여 가이드 라인을 설정하였지만, 미국의 경우 주별 가이드 라인이 별도로 존재하기도 함.
- 3) 캘리포니아주는 최신 간 독성 연구와 생식 관련 연구를 바탕으로 미국 연방 정부 가이드 라인보다 더 민감하게 기준을 제시하고 있음.
- 4) 캘리포니아주 EPA는 마이크로시스틴 불확실 요인(uncertainty factor), 즉 예측할 수 없는 위험 요인에 능동적으로 대응하기 위해 더 낮은 가이드 라인 제시(오하이오주립대 이지영 교수, 2022.02.03. 인터뷰)

3) 주요 내용은 캘리포니아주 EPA OEHHA 보고서에서 인용(CA EPA OEHHA, 2021)

II. 조사(분석) 결과

1. 작물 내 마이크로시스틴 조사(분석) 방법

1-1. 샘플

- 1) 금강 하류 부근 정미소에서 현미 10kg
- 2) 낙동강 중류 부근 밭에서 무 5kg
- 3) 낙동강 하류 밭에서 배추 15kg

1-2. MC 추출 방법

- 1) 샘플을 소독된 칼과 막자사발로 곱게 간다.
- 2) 10g의 작물 샘플에 50% MeOH의 50 ml을 넣어 페이스트 만든다.
(STD, NOD 1ppm_10ul)
- 3) Homogenizing 600 RPM에서 2분, 50% MeOH로 린싱. 이후 sonication 30분.
- 4) 50 ml 코니칼 튜브에 넣어 centrifuge하고 상층액만 사용
(지방층이 많은 샘플은 4번 과정을 1회 반복)
- 5) 상층액을 부흐너 깔때기를 이용하여 필터링
- 6) 감압 농축
- 7) 농축 후 1 ml의 물로 린싱하여 회수
- 8) 회수물 spin down 시킨 후, 0.45uM 필터지로 필터
- 9) HLB 카트리지를 프리컨디셔닝을 위해 20 ml의 100% MeOH, 20 ml의 DIW를 1 ml/min으로 흘려주고, 샘플 주입. 다음 찌꺼기를 washing 해 주기 위해서 20 ml의 10% MeOH을 흘려준 뒤, 20 ml의 80% MeOH로 용출한다.
- 10) 질소 농축. (질소농축기에 DIW로 채워준 뒤, 질소농축기 on, 질소가스의 상밸브 열고(10 mpa), 질소압력1, 온도 60°C, 시간 55분 설정)
- 11) 질소농축물을 1 ml의 물에 녹인 후 Centrifuge 5분 max 돌리고, 상층액만 따서 0.22 um 필터지로 필터링 이후 분석

※ 조사방법 요약 : 10 g의 샘플을 50% 메탄올을 넣고 균질화를 한다. 원심분리처

리 후 상층액을 추출하여 필터링 하고 농축한다. 농축된 샘플은 필터과정 및 질소 농축하여 농축물을 만든다. (아래 참고문헌 참조)

1-3. MC 측정

1) ELISA 방법으로 MC 농도 측정 (LC-MS/MS로 일부 샘플 확인)

1-4. 측정 결과

1) 쌀에서 1.3 µg/kg, 무에서 1.85 µg/kg, 배추 1.1 µg/kg 검출

1-5. 참고문헌

- Machado, J., Azevedo, J., Freitas, M., Pinto, E., Almeida, A., Vasconcelos, V., & Campos, A. (2017). Analysis of the use of microcystin-contaminated water in the growth and nutritional quality of the root-vegetable, *Daucus carota*. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(1), 752-764.
- Liang, C., Wang, W., & Wang, Y. (2016). Effect of irrigation with microcystins-contaminated water on growth, yield and grain quality of rice (*Oryza sativa*). *Environmental Earth Sciences*, 75(6), 1-10.
- Wang, Z., Xiao, B., Song, L., Wu, X., Zhang, J., & Wang, C. (2011). Effects of microcystin-LR, linear alkylbenzene sulfonate and their mixture on lettuce (*Lactuca sativa* L.) seeds and seedlings. *Ecotoxicology*, 20(4), 803-814.

2. 낙동강·금강 실린드로스퍼몹신(cylindrospermopsin) 분석

2-1. 샘플

- 1) 2021년 7~8월 낙동강·금강에서 매주 2차례 채수 샘플 중 21개 지점 분석

2-2. 분석 방법

- 1) 1차 분석(2021년 8월 마이크로시스틴) 후 동결한 상태의 샘플을 해동 후 5 ml 갈색 유리병으로 옮김. 옮긴 샘플을 다시 동결 및 해동을 2회 반복 후 ELISA 실험을 진행함(총 3회 Freeze and Thawing)

2-3. Protocol

- 1) Cylindrospermopsin, ELISA, 96-test (PN522011, Eurofins) 키트에서 제공한 방법과 동일한 protocol으로 진행함.

2-4. 측정 결과

<표 3> 낙동강·금강 실린드로스퍼몹신 분석 결과

	지점	채수 일시	농도 (µg/L, ppb)
낙동강	해평취수장 부근	2021.08.12	1.81
	문산취수장 부근	2021.08.11	2.54
	매곡취수장 부근	2021.08.11	25.20
	낙동강 레포츠 벨리	2021.08.20	7.37
	달성보 선착장	2021.08.20	3.79
	강정 고령보 상류 우안	2021.08.04	2.84
		2021.08.20	26.58
	화원 유원지 우안	2021.08.04	10.90
	고령교 우안	2021.08.04	2.53
	도동서원 좌안	2021.08.04	3.10
		2021.08.20	7.65
	이노정 부근 좌안	2021.08.04	26.50
	국가산단취수장 부근 좌안	2021.08.04	3.07
		2021.08.05	2.56
		2021.08.20	16.91

	고령 객기리 지하 관정	2021.08.04	2.64
	이방양수장	2021.08.04	2.92
	창녕함안보 상류 우안	2021.08.04	2.93
		2021.08.20	3.42
	본포 취수장 부근 우안	2021.08.04	2.90
		2021.08.20	3.08
		2021.08.28	3.18
	합천창녕보 상류	2021.08.04	2.12
금강	용두양수장	2021.08.12	48.74
	웅포대교 수상스키장 부근	2021.08.12	23.99
	어부 배터 선착장 앞(나포리)	2121.08.12	26.12
	서포양수장	2021.08.12	21.71
	조류생태전시관	2021.08.12	2.69

Ⅲ. 분석 결과에 따른 시사점

1. 쌀·무·배추 마이크로시스틴 검출량 계산

1-1. 곡류 및 채소류⁴⁾

1) 2019년 곡류 및 그 제품 하루 평균 섭취량은 269.92 g(최대 313.24 g)

(1) 녹조로 키운 곡류의 경우 모두 검출될 수 있다는 점과 명확한 산정을 위해 성인은 하루 300g, 소아는 150g 섭취로 가정함.

2) 2019년 채소류 하루 평균 섭취량은 274.17 g(최대 346.83 g)

(1) 채소류 중 배추, 무는 김치 등 밑반찬 주재료라는 점을 고려해 배추, 무를 합해 하루 섭취량 평균의 30~40% 수준과 명확한 산정을 위해 성인은 하루 100g, 소아는 하루 50g 섭취로 가정함.

1-2. 쌀과 무·배추 취식에 따른 마이크로시스틴(MCs) 섭취량 계산

<표 4> 금회 분석에 따른 60kg 성인, 30kg 소아 하루 마이크로시스틴(MCs) 섭취량 계산

구분(검출량)	대상	계산식	하루 섭취량 ($\mu\text{g/kg-day}$)
쌀 ($1.3\mu\text{g/kg}$)	성인(60kg)	(100g 당 MCs 농도) $0.13 \times 3\text{식}$	0.39
	소아(30kg)	(50g 당 MCs 농도) $0.065 \times 3\text{식}$	0.195
무·배추 ($2.95\mu\text{g/kg}$)	성인(60kg)	100g 당 MCs 농도	0.295
	소아(30kg)	50g 당 MCs 농도	0.147

1) 마이크로시스틴 검출된 쌀($1.3 \mu\text{g/kg}$)을 성인은 하루 300 g, 소아는 150 g 취식한다고 가정하면 하루 섭취량은 성인과 소아 각각 0.39, 0.195 $\mu\text{g/kg}$ 임.

2) 마이크로시스틴 검출된 무($1.85 \mu\text{g/kg}$), 배추($1.1 \mu\text{g/kg}$)를 합해 성인은 하루 100 g, 소아는 50 g을 섭취한다고 가정했을 때 하루 섭취량은 성인과 소아 각각 0.295, 0.147 $\mu\text{g/kg}$ 임.

4) 한국보건산업진흥원의 2019년 국민영양통계 자료 활용
<https://www.khidi.or.kr/kps/dhraStat/result1?menuId=MENU01651&gubun=age1&year=2019> (최근 검색일 2022.02.03)

1-3. OEHHA 및 ANSES 가이드 라인에 따른 하루 섭취량 계산

<표 5> OEHHA 및 ANSES 가이드 라인에 따른 성인(60kg)과 소아(30kg) 하루 섭취량 기준

기관	대상	간 병변 기준($\mu\text{g/kg-day}$)	생식 독성 기준($\mu\text{g/kg-day}$)
OEHHA	성인(60kg)	0.384	0.108
	소아(30kg)	0.192	0.054
ANSES	성인(60kg)	—	0.06
	소아(30kg)	—	0.03

- 1) OEHHA이 제시한 간 병변 가이드 라인 농도 $0.0064\mu\text{g/kg-day}$ 와 OEHHA와 ANSES이 제시한 정자 수 감소, 즉 생식 독성 가이드 라인 농도 $0.0018, 0.001\mu\text{g/kg-day}$ 를 60kg 성인과 30kg 소아의 하루 섭취 허용량 기준으로 계산하면 <표 5>와 같음.

1-4. 쌀·무·배추 마이크시스틴 섭취량과 OEHHA·ANSES 가이드 라인 비교

- 1) 이번 분석 결과에 따른 성인과 소아 하루 섭취량을 OEHHA와 ANSES이 제시하는 간 병변 및 생식 독성 가이드 라인에 적용하면 다음과 같이 추산할 수 있음.
- 2) 간 병변의 경우 OEHHA 가이드 라인에서 쌀은 1.01배 초과했으며, 무·배추는 기준치의 77% 수준임.
- 3) 생식 독성의 경우 OEHHA 가이드 라인에서 쌀은 3.61배, 무·배추는 2.7배 초과했음. ANSES 가이드 라인에서 쌀은 6.5배, 무·배추는 4.9배 초과하는 것으로 나타남.
- 4) 쌀과 무, 배추가 전국으로 유통된다는 점에서 마이크로시스틴이 검출된 쌀·무·배추를 동시에 취식할 수 있다는 가정이 가능함.
 - (1) 그에 따르면 60kg 성인은 마이크로시스틴을 하루 $0.685(\text{쌀 } 0.39 + \text{무·배추 } 0.295)\mu\text{g/kg}$ 를 섭취하며, 30kg 소아는 하루 $0.332(\text{쌀 } 0.195 + \text{무·배추 } 0.147)\mu\text{g/kg}$ 를 섭취하는 꼴임.
 - (2) 이 수치는 간 병변의 경우 OEHHA 가이드 라인을 1.8배 초과하는 것

이며, 생식 독성의 경우 OEHHA 가이드 라인을 6.3배 초과, ANSES 가이드 라인으로 볼 땐 11.4배 초과하는 것임.

<표 6> 금회 분석 결과의 OEHHA 및 ANSES 가이드 라인 적용 결과

구분 (검출량 μg/kg)	대상	하루 섭취량 (μg/kg-day)	OEHHA 기준		ANSES 기준
			간 병변 (0.0064μg/kg-day)	생식 독성 (0.0018μg/kg-day)	생식 독성 (0.001μg/kg-day)
쌀 (1.3)	성인(60kg)	0.39	1.01배 초과	3.61배 초과	6.5배 초과
	소아(30kg)	0.195			
무·배추 (2.95)	성인(60kg)	0.295	기준치 77% 수준	2.7배 초과	4.9배 초과
	소아(30kg)	0.147			
쌀·무· 배추	성인(60kg)	0.685	1.8배 초과	6.3배 초과	11.4배 초과
	소아(30kg)	0.332			

2. 마이크로시스틴 검출 및 축적 경향성

2-1. (2021.08.24. 1차 기자회견) 낙동강·금강 고농도 마이크로시스틴 검출

- 1) 환경운동연합 등은 부경대 이승준 교수 연구팀과 함께 2021년 7~8월 낙동강, 금강 주요 지점에서 물을 채수해 분석한 결과 미국 EPA 물놀이 안전 가이드 라인(8 μg/L)의 875배에 이르는 최대 7,000 ppb의 마이크로시스틴이 검출됐다는 사실을 밝혔다.
- 2) 현재 환경부가 운영 중인 조류경보제의 문제점을 지적하며, 국민건강 및 환경 위해성 관점에서의 남세균 독성 물질 문제 해결을 위한 민·학·관 공동위원회 구성을 촉구했음.
 - (1) 한정에 환경부 장관은 지난해 9월 국회에서 “녹조 독소의 작물 관련한 추가 연구 용역을 진행하겠다.”라고 밝혔음(우영탁, 2021). 그에 따라 환경부는 대한환경공학회에 용역 의뢰, 녹조 선진화 방안 연구진을 구성했음.
 - (2) 그러나 연구 용역은 농산물 축적 문제보다 현행 조류경보제 개선 중심이며, 그나마도 민간단체 참여가 제한됐음.

2-2. (2021.10.18. 2차 보도자료) 실험을 통해 농작물 내 마이크로시스틴 축적 국내 첫 확인

- 1) 지난해 10월에는 부경대 이승준 교수와 이상길 교수 연구팀과 함께 실험 환경(녹조 물로 상추 재배)에서 마이크로시스틴이 농작물에 축적된다는 사실을 국내에서 처음으로 밝힘.
- 2) 해외 연구 사례를 보면 작물에 따라서는 농업용수에 포함된 남세균 독소 중 최대 40%, 적게는 5~10%가 축적되는 경우가 있음. 금강 서포양수장의 경우 마이크로시스틴(MCs) 5,000 ppb가 검출됐는데, 10%만 잡아도 500 ppb가 축적되는 것으로 국민건강에 상당한 위해 요인이 될 수 있음.
- 3) 이러한 결과를 바탕으로 ‘녹조는 작물에 축적되지 않는다’라는 그간 정부 태도를 지적하며 국민 안전 대책 마련을 촉구함.

2-3. (2021.02.08. 3차 기자회견) 강물 속 고농도 마이크로시스틴과 주변 농작물 축적 상관성

- 1) 이번 결과는 지난해 11월 낙동강, 금강 주변 노지 재배 작물(쌀·배추·무)을 구입한 샘플을 부경대 이승준 교수 연구팀이 분석한 것으로, 강물 속 고농도 마이크로시스틴이 주변 농경지 작물에 영향을 미칠 수 있다는 것을 다시 한번 보여주는 결과임.
- 2) 일본 신슈대 박호동 교수는 “주식인 쌀에서 마이크로시스틴이 나왔다는 것 자체가 문제”라고 지적함(2022.01.26. 인터뷰). 오하이오주립대 이지영 교수 역시 “(마이크로시스틴이 국내 농작물에서) 나왔다는 것 자체가 굉장히 새로운 발견”이라면서 “물만의 문제가 아니다.”라고 지적함(2022.02.04. 인터뷰). 남세균이 번성한 물로 농작물을 키우면 남세균이 토양에서도 생존해 독을 더 많이 쌓이게 한다는 것이 전문가 지적임.
- 3) 남세균 번성 시기가 지난 11월에 단 세 종류 농작물을 구매해 분석해도 프랑스 식품환경위생노동안전청(ANSES) 가이드 라인을 최대 11배 초과
(1) 이는 다른 농작물에서도 마이크로시스틴이 검출될 수 있다는 것과 녹조 번성 시기 출하 작물의 경우 더 높게 검출될 수도 있다는 걸 의미함.

(2) 부경대 이승준 교수는 “유네스코 등에서는 기후위기에 따라 녹조 현상이 2060년까지 계속 증가하리라 전망하고 있다. 그에 따른 (마이크로시스틴의) 작물 축적 현상이 계속될 수 있다.”라고 밝힘. 또 “해외 연구에 따르면 물고기, 과일 등에서도 (남세균 독성이) 축적된다는 사례가 너무 많기에 마이크로시스틴이 하루에 얼마나 우리 몸에 들어오는 지 전체적으로 봐야 한다.”고 강조함.

4) 이지영 교수도 “농작물의 종류와 조건에 따라서 독성 흡수량이 다르기에 더 많은 표본을 가지고 검사를 더 지속적으로 해 봐야 한다.”라면서 “중요한 거는 모니터링 결과를 실시간으로 공개해야 하는 것”이라 강조함.

3. 마이크로시스틴의 유해성 및 생식 독성

3-1. 밥을 지어도 분해되지 않은 마이크로시스틴

1) 부경대 이상길 교수는 “마이크로시스틴은 상당히 안정된 물질이라서 300°C 이상에서도 분해되지 않는다. 만약 벼에서 독소를 배출하는 시스템 없이 축적만 된다면 밥을 지어도 (독소가) 분해되지 않을 수 있다.”라고 지적했음(2021.10.06. 인터뷰).

2) 쌀 이외 마이크로시스틴이 축적된 다른 작물을 가열해 조리해도 독성은 분해되지 않고 그대로 인체에 흡수될 수 있음.

3-2. (해외 최신 연구 경향) 마이크로시스틴의 생식 독성 문제

1) 해외 최신 연구에 따르면, 마이크로시스틴의 생식 독성 문제가 집중적으로 거론되고 있음.

2) 이지영 교수는 “동물 실험 결과 간 외에 폐, 뇌 그리고 생식기에 영향 미칠 수 있다. 그냥 간에 국한한다는 얘기가 아니다. 간 독성이 가장 큰 문제지만, 적극적으로 보면 간을 넘어서 다른 영향도 생각해 봐야 하는 시기다.”라고 지적함. 생식 기관이 마이크로시스틴에 좀 더 민감하게 반응한다는 것이 전문가 지적임.

3) 이런 경향에 따라 프랑스 식품환경위생노동안전청(ANSES)은 정자 수 감

소(Decline in sperm number), 즉 생식 독성 가이드 라인(하루 허용량)을 2019년 0.001 $\mu\text{g/kg-day}$ 으로, 미국 캘리포니아주 건강위험평가소(OEHHA)는 2021년 생식 독성 가이드 라인을 0.0018 $\mu\text{g/kg-day}$ 으로 제시했음.

- 4) OEHHA는 생식 독성 등 마이크로시스틴의 불확실성 요인(uncertainty factor), 즉 예측할 수 없는 위험성 증가를 능동적으로 대처하기 위해 먹는 물 가이드 라인을 임시로 0.03ppb로 설정하고 있음. 이는 미국 EPA의 유아(6세) 가이드 라인인 토탈 마이크로시스틴(MCs) 0.3ppb보다 10배, 세계보건기구(WHO) 가이드 라인 마이크로시스틴-LR 1ppb보다 (단순 비교해) 33.3배 더 엄격하게 설정하는 것임

- (1) 우리나라는 현재 WHO 가이드 라인을 적용하고 있으나, 국민건강을 관점을 고려해 토탈 마이크로시스틴 적용 및 가이드 라인을 더욱 강화해야 함.

3-3. 수돗물 안전성 우려

<표 7> 2016년 2월 경상남도 지역 아파트 수돗물 마이크로시스틴(MC-LR) 검출 결과($\mu\text{g/L}$)

시료명	1차	2차
A호	0.0480	0.0472
B호	0.0347	0.0216
C호	0.0360	0.0447
D호	0.0285	0.0466
E호	0.0459	0.0455
F호	0.0272	0.0449
G호	0.0289	0.0377
H호	0.0241	0.0218

출처 : 사)시민환경연구소 의뢰로 카이스트(KAIST)가 분석한 자료(2016.02)

- 1) <표 7>은 2016년 2월 낙동강을 원수로 사용하는 경남지역 모 아파트 수돗물의 마이크로시스틴-LR 검사 결과임. 조류 경보가 발령되지 않은 시

기에 수돗물에서 검출돼 우려의 목소리가 나왔음(정영민, 2016).

2) 미국 캘리포니아주 건강위협평가소(OEHHA)는 음용수 가이드 라인을 토탈 마이크로시스틴(MCs) 0.03 ppb로 제시.

(1) 통상적으로 토탈 마이크로시스틴이 마이크로시스틴-LR보다 높은 수치를 보임.

(2) 단순 비교했을 때 2016년 2월 총 16개 분석 시료 중 10개 시료가 OEHHA 가이드 라인을 초과(초과율 62.5%)한 것.

3) 그간 환경부는 유해 남조류(남세균)에 대해서 ‘고도정수 처리를 통해 다 걸러진다’며 ‘안전하다’만을 주장해왔음. 그러나 앞서 살펴봤듯이, 마이크로시스틴의 생식 독성이 문제가 됨에 따라 선진국에서는 가이드 라인을 대폭 강화하고 있음. 2016년 2월 경남지역 분석 결과 OEHHA의 가이드 라인을 초과한 사례는 우리나라 역시 기준을 강화해야 함을 의미함.

4) 계절과 상관없이 수돗물에 대한 종합적인 조사와 분석이 필요하며, 민간 전문가와 민간단체가 참여하는 조사가 되어야 함.

4. 실린드로스퍼몹신 검출, 남세균 독성 가중

4-1. 마이크로시스틴과 실린드로스퍼몹신의 시너지 효과

- 1) 낙동강과 금강의 녹조라떼 번성 지역에서 두 개의 남세균 독성 확인
- 2) 마이크로시스틴과 실린드로스퍼몹신은 독성의 시너지 효과를 나타낸다는 해외 연구 결과 있음(1+1=2가 아닌 3 또는 4가 될 수 있음.). 그에 따라 부경대 이승준 교수는 “결국 우리나라 강이 전혀 안전하지 않다는 걸 의미한다.”라고 지적함(2022.01.21. 인터뷰)

4-2. 그동안 국내에선 ‘유전자 발견’ 또는 ‘불검출’만 보고

- 1) 미국, 캐나다 등에서 호수나 강을 주기적으로 조사할 때 분석하는 대표적인 독성 물질이 실린드로스퍼몹신임.
- 2) 국내에서 그간 실린드로스퍼몹신 발생 유전자를 발견했다는 보고서(경기도보건환경연구원, 2021) 및 서울 한강 실린드로스퍼몹신 불검출 언론 보도(이정현, 2014)만 있었음.

4-3. 낙동강, 금강 분석 샘플 21개(낙동강 16, 금강 5) 모두 검출

1) 이 중 미국 EPA 물놀이 금지 가이드 라인(15ppb) 초과 8개 지점

(1) 낙동강 4개 지점 초과 : 매곡취수장 부근(25.20ppb), 강정고령보 상류 우안(26.58ppb), 이노정 부근 좌안(26.50), 국가산단취수장 부근 좌안(16.91)

(2) 금강 4개 지점 초과 : 용두양수장(48.74), 옹포대교 수상스키장 부근(23.99), 어부 배터 선착장(26.12), 서포양수장(21.71)

4-3. 지하수에서도 실린드로스퍼몹신 검출

1) 고령 객거리 연리들 지하 관정 샘플(2021.08.04. 채수)에서 2.64ppb 검출, 남세균 독소의 지하수 검출 국내 첫 사례

(1) 국내에서 4대강 주변 지하수 수위 변동에 관한 연구는 있었으나, 남세균 독성 조사는 거의 진행되지 않았음.

2) 이지영 교수는 “(남세균 독성이) 지하수로 내려갈 수 있다는 건은 내가 2017년에 논문을 발표했고, 또 다른 나라에서도 녹조 발생 주변 지하수에 독성이 있을 수 있다는 건 이미 발표됐다.”라고 지적함(2021.02.04. 인터뷰)

3) 4대강사업 이후 보 주변 지하수위 변동지수 저하에 따른 지하수 수질 악화 문제는 독일 카를스루에 대학 한스 베른하르트 교수가 이미 지적한 바 있음(환경운동연합, 2011). 중장기적으로 지하수 산소 공급 저하에 따른 수질 악화가 우려되고 있는 상황에서, 남세균 독성은 또 다른 차원의 심각한 오염원임. 이에 대해서도 정밀 조사와 대책이 필요함.

4) 또 현재 강 주변에서 지하수를 한계 용량 이상 사용하는 지속가능하지 않은 농업 형태에 대해서도 사회적인 고민과 대안 마련이 필요함.

(1) 미국, 일본 등에서는 정부와 민간 농업기관이 농산물의 안전성과 품질 관리를 위해 독성 남세균에 관해 자발적 연구 및 비료 사용량 조절 정책 추진 중임.

5. 종합 평가

6-1. 남세균의 경고

- 1) 2021~2022년 낙동강, 금강의 남세균 분석 결과는 강물 속 고농도 남세균 독성 물질(마이크로시스틴 최대 7,000ppb)이 우리 국민의 먹거리인 농작물에도 축적되고, 그에 따라 국민건강이 심각하게 위협받을 수 있음을 보여주는 것임.
- 2) 특히 ‘한국인 밥상’의 기본인 쌀과 무, 배추에서 프랑스 식품환경위생노동안전청(ANSES)의 생식 독성 가이드 라인을 11배 넘게 검출됐다는 것은 대한민국이 ‘환경 후진국’이란 지적이 나오게 함.
- 3) 부경대 이승준 교수는 “지금 남세균이 우리나라에 경고하는 거다. 지금 10년째 알려주고 있지 않나. 안전하지 않다고. 근데 왜 아무 조치를 안 하나?”라고 밝힘(2021.01.21. 인터뷰).
- 4) 낙동강에서 ‘녹조라떼’라는 신조어가 만들어진 지 10년이 넘도록 국민의 생명과 안전의 최종 담지자로서 대한민국 정부는 무엇을 했는가?
- 5) 이번 대선 후보가 남세균의 경고, 즉 강이 건강하지 않으면, 우리 국민도 건강할 수 없다는 사실을 받아들이고 우리 강이 강답게 흐를 수 있도록 공약과 정책을 추진해야 함.

6-2. 남세균 독성에 대한 위험평가, 위험관리, 위험 소통 부실

- 1) 4대강사업 이후 정부는 남세균 위험성을 낮추기 위해 조류경보제 등을 제도적으로 왜곡해 왔음.
- 2) 녹조는 주로 바람 등에 영향으로 강가에 몰리지만, 환경부 측정지점은 강 가운데에서, 그나마도 상·중·하를 혼합해서 분석하고 있음. 국민의 친수 활동과 상수원수 취수구는 주로 강변에 있는 상황에서 현재와 같은 측정 방식은 의도적으로 남세균 유해성과 위해성을 낮추기 위한, 즉 ‘제도화된 사기극’이라는 비판이 나올 수밖에 없음.
- 3) 부경대 이승준 교수는 “채수 지점이 잘못 선정이 되면 그 뒤로 독성 데이터, 남세균 세포 데이터 기타 등등의 모든 데이터가 사실상으로는 쓸모가 없는 데이터가 될 수도 있기에 채수 지점 시작이 굉장히 잘 되어야

한다.”라고 지적하는 것도 같은 맥락임(2022.01.21. 인터뷰)

- 4) 정부는 남세균 독성의 환경생태적 영향과 농작물, 어류 등 먹거리 및 에어로졸 등 국민건강 영향에 관해 위험평가조차 제대로 하지 않으면서, 녹조 독성에 관한 국민적 우려가 커질 때마다 ‘수돗물은 안전하다’라고만 강조해왔음.
- 5) 결국 녹조라떼 창궐 10여 년 넘게 정부는 남세균 독성에 관한 위험평가, 위험관리, 위험 소통을 모두 부실하게 해왔음.

6-3. 수돗물 신뢰 저하 원인

- 1) 우리나라 수돗물 생산 기술을 국제적으로 인정 받고 있음. 그러나 매년 되풀이되다시피 하는 녹조라떼는 상수원에 관한 근본적 신뢰를 떨어뜨리게 하는 요인임.
- 2) 해외 국가에선 마이크로시스틴의 생식 독성 등 불확실성 요인을 대비해 먹는 물 수질 기준을 강화하는 상황에서 수돗물을 총괄하는 환경부는 거북이보다 느린 정책을 펼치고 있음.
- 3) 2016년 경남지역 아파트의 마이크로시스틴 분석 결과가 미국 캘리포니아주 건강위험평가소(OEHHA)의 음용수 가이드 라인 초과한 점은 우리 국민의 수돗물 걱정을 더욱 가중하는 것임.
- 3) 수돗물 신뢰성 회복을 위해서라도 민간 전문가, 민간단체와 함께 남세균 문제를 종합적으로 검토할 수 있는 기구를 만들어야 함.

6-4. 강을 흐르게 하는 것이 가장 현명한 해결법

- 1) 기후위기가 가속화되는 상황에서 남세균 독성 문제는 앞으로 더욱 크게 발생할 것으로 예상됨. 자연 발생 요인을 억제하기 쉽지 않다면, 우선 인위적으로 발생시킨 요인부터 억제하는 것이 현명한 방법임.
- 2) 현재 발생하고 있는 남세균 독성 문제는 흐르지 못한 강의 비극에서 시작됐음. ‘강은 흐른다’는 강이 지닌 가장 기본적인 고유성이자 자연성임. 이를 회복하는 것만으로도 현재 발생 문제의 상당 부분을 해소할 수 있음. 우리 강을 흐르게 하는 게 현세대와 미래 세대를 위한 선택임.
- 3) 오하이오주립대 이지영 교수는 “예전에는 막 댐을 만들고 보를 만들고

이런 추세였는데, 지금 전 세계적으로, 아주 오래전부터 사실은 이제 다시 보를 없애는 게 추세”라고 지적함. 부경대 이승준 교수는 “강 자체가 자정 능력이나 복구 능력을 잃게 되면 우리는 지금 관리하는 돈보다 훨씬 많은 돈을 사용할 수밖에 없다. 환경에서 가장 비용을 아끼는 부분은 사전 예방”이라고 강조함.

Ⅳ. 우리나라 조류경보제의 문제점

조류경보제는 왜 이렇게 왜곡됐나?

최승호 <뉴스타파> PD

2008년 매뉴얼 ‘상수원수 취수구’ 측정 규정, 2012년 박석순 환경과학원장 시절

취수구 상류로 변경

취수구는 주로 강변, 환경부 측정지점은 강 가운데, 그것도 상·중·하 혼합해서 분석

녹조가 적게 나올 수밖에 없도록 제도화

언론의 왜곡 두려워 남조류 세포수 측정 방식 고수? 전문가 “독소측정이 바람직”

2021년 여름 환경단체 활동가들과 국립 부경대학교 이승준 교수팀은 낙동강 녹조 독소 현황을 조사했다. 그 결과 여러 곳에서 수천 ppb의 마이크로시스틴(MCs)가 검출됐다. 그러나 환경부 산하 국립환경과학원 낙동강물환경연구소가 측정한 최고치는 0.4ppb(8월 21일, 칠서 경보지점)이었다. 특히 대구 시민들이 먹는 물의 안전성을 점검하기 위해 측정하는 조류경보제 강정고령 채수지점의 마이크로시스틴 수치는 0.11ppb였는데 막상 대구 시민 60%가 마시는 물을 취수하는 매곡취수장 취수구 앞의 마이크로시스틴 수치는 435ppb였다. 무려 3,954배 차이다.

국회 환경노동위원회 이수진 의원실(비례)과 <뉴스타파>는 조류경보제가 녹조의 위험성을 사전 경고하는 역할을 제대로 하지 못하고 있다고 판단하고, 어떤 과정에서 조류경보제가 현재 방식으로 설계됐는지 파악하기 위해 환경부가 보유한 자료를 요청해 분석했다.

2012년 11월 : 박석순 국립환경과학원장 당시 낙동강 조류경보제 측정지점을 취수장 상류에 선정

환경부는 98년부터 상수원수로 이용하는 호소와 한강을 대상으로 조류예보제를 시행해왔다. 환경부가 2008년 발행한 ‘조류예보제 매뉴얼’에는 측정지점 선정 기준으로 ‘상수원수 취수구 주변은 반드시 포함’한다고 돼 있다(환경부 국립환경과학원, 2008). 지금도 호소는 물론 한강의 조류경보제 측정지점에는 취수구가 포함돼 있다(환경부 국립환경과학원, 2020). 낙동강만 취수구보다 수 km 상류에 측정지점이 설정돼있다. 그 이유는 무엇인가.

2012년 4대강 사업이 완공(2011.10)된 이후 첫 여름을 맞아 남조류 세포수가 조류경보기준보다 약 14배까지 초과하는 등 4대강에 녹조(남조류)가 번성했다. 당시 녹조가 심하면서 상수원으로 이용하고 있는 낙동강에도 한강처럼 조류경보제를 운영해야 한다는 여론이 있었고, 국립환경과학원(원장 박석순)⁵⁾은 ‘녹조대응 TF’를 만들어 제도개선을 논의했다(국립환경과학원, 2012b). 과학원은 2012년 11월 ‘국가 조류관리 제도개선(안)’을 제출했는데(국립환경과학원, 2012c), 이때 처음으로 낙동강 조류경보제 채수지점을⁶⁾ 취수장 상류에 선정한 근거가 나온다. 조류경보제의 측정지점을 취수장보다 2-4km 상류에 설정하면서 과학원이 내세운 논리는 ‘분석과 취·정수장 통보에 1.5일이 걸린다’는 것이었다. 측정 이후 그 물이 흘러 1.5일 만에 취수장에 도달할 측정지점을 선정했다는 것이다. (문산취수장-선원리 4.8킬로)(선원리-매곡취수장 6.5킬로미터)

녹조가 상류에서 발생해 하류까지 비슷한 상태로 이동한다는 식의 논리다. 그러나 녹조는 수온, 오염물질의 정도, 물 흐름 등 물의 상태에 따라 발생 양태가 다르다는 점에서 이 논리는 심각한 허점이 있다. 박호동 일본 신슈대 교수(환경독성)는 “폐놀이나 중금속 같은 것이 상류에서 내려올 때는 오기 전에 알리면 방지할 수 있다. 그러나 녹조는 다르다. 상류에서 흘러내려오는 것이 아니라 물이 고이는 곳에서 많이 발생한다. 그런데 폐놀 같은 것에 대처하는 방식으로 하는 것은 문제가 있다.”라고 평가했다. 보통 취수장은 강의 우안이나 좌안의 물 흐름이 느린 곳에 있는데 환경부가 설정한 측정지점은 강 한복판의 유속이 빠른 곳들이다. 이곳들은 취수장보다 녹조 발생이 적을 수밖에 없다.

5) 박석순 국립환경과학원장 직인이 찍힌 공문 참조(국립환경과학원, 2012a. “국가 조류관리 제도개선(안) 제출” 2012.11.05. 공문)

6) ‘2012 조류경보제 측정지점’ 참조

이해할 수 없는 환경부 설명

환경부의 설명에는 이해하기 어려운 점이 한두 가지가 아니다. 대구 강정고령 경보구간에는 3개의 취수장이 서로 떨어져 있다. 고령광역취수장, 문산 취수장, 매곡취수장이다. 그런데 측정지점은 한 곳이다. 이 측정지점과 취수장들의 거리는 각각 2킬로(고령 광역), 4.8킬로(문산), 6.5킬로(매곡) 떨어져 있다. 분석과 통보에 걸리는 1.5일을 기준으로 설정했다는 논리는 맞을 수가 없다. 고령광역 기준으로 1.5일이라면 문산과 매곡에는 아직 해당 물이 도착하지 않았을 테고, 매곡 기준이라면 고령광역과 문산에는 이미 지나갔을 것이기 때문이다.

낙동강 칠서 경보지점은 2013년 시행 당시 경남지역에 물을 공급하는 칠서 취수장과 부산 경남의 광범위한 지역에 물을 공급하는 물금, 매리 취수장을 모두 커버하도록 돼 있었다. 그런데 칠서 측정지점에서 칠서취수장까지는 4킬로 인데 물금취수장까지는 60킬로 가깝다. 60킬로나 떨어진 곳에서 물을 떠서 경보를 하니 맞을 리가 없다. 2018년 낙동강 물금 매리지역에 녹조가 창궐하고 부산시민에게 물을 공급하는 덕산 정수장이 제한급수조치를 검토할 상황까지 간 뒤⁷⁾ 부산시 상수도본부는 ‘물금 매리 지역에 별도로 경보지점을 설치해달라’고 요청했다(낙동강유역환경청, 2018). 결국 환경부는 새롭게 물금매리 경보지점을 신설해 2020년부터 운영하고 있다. 그러나 물금 매리지역에는 물금, 매리 취수장 외에도 창암, 원동, 신도시 취수장이 줄줄이 수 km의 거리를 두고 늘어서 있어서 환경부의 ‘1.5일 유하시간’ 개념을 적용한다면 경보는 맞지 않을 수밖에 없다.

그렇다면 환경부(국립환경과학원)는 무슨 근거로, 어떤 의도로 취수장의 상류에 경보용 측정지점을 설정한 것일까? 여러 차례 문의한 끝에 ‘호주의 녹조 모니터링 제도를 참고했다’는 답변을 받았다. 국립환경과학원은 뉴스타파에 호주의 모니터링 방법을 설명한 자료를 보냈다.⁸⁾ 뉴스타파는 해당 자료의 대표

7) <https://www.hani.co.kr/arti/PRINT/903251.html>

8) Monitoring_Strategies_for_Management_of_CyanobacteriaBlue_Green 자료 참조

집필자인 마이클 버치(Michael Burch) 호주 아델라이드 대학 교수에게 문의했다. 버치 교수는 뉴스타파에 “대부분의 물 관련 기관은 취수구에서 샘플을 채취한다. 취수구가 가장 위험도가 큰 곳이기 때문이다. 그러나 취수구 외에 강이나 호수의 녹조 농도에 대해 추가적으로 정보를 얻기 위해 거리가 떨어진 곳에서 샘플을 채취하기도 한다. 그러나 보통은 취수구에서 샘플을 채취한다.”라고 답했다. 취수구가 가장 중요한 샘플 채취 위치이고 상류지점은 추가적인 정보를 얻기 위해 샘플을 채취한다는 것이다. 실제로 과학원이 뉴스타파에 보낸 호주의 자료에도 샘플 채취 지점이 ‘both offtake location and multiple open water sites’(취수구 지점과 다수의 강 지점)이라고 명시돼 있다. 그런데 국립환경과학원은 호주의 모니터링방법에서 강 상류에서 녹조 샘플을 채취한다는 것만 취하고 막상 가장 핵심적인 취수구 지점 샘플 채취는 하지 않은 것이다. 이미 한강을 포함한 호소에서 취수구 지점에서 녹조 샘플을 채취하고 있었으면서 왜 낙동강에만 해외 사례를 왜곡해 강 상류에서 샘플을 채취하는 제도를 만들었을까? 심각한 의문이 제기되는 대목이다.

2012년 당시 국립환경과학원의 녹조대응TF의 팀장이었던 이수형 과장(상수도)은 뉴스타파에 ‘당시 시범운영이었기 때문에 운영 뒤에 취수구 지점을 넣는 등 수정됐어야 하는데 빠지지 않았나 한다’고 답했다. 이 팀장은 당시 박석순 원장 등 상부에서 조류경보제 설계에 특별한 지침을 준 것은 없다고 말했다. 그러나 그렇다고 보기에는 석연찮은 지점들이 많다. 낙동강의 녹조 측정지점 선정이 이후 매우 낮은 독소 측정값이 나오도록 하는데 가장 결정적인 선택이었지만 그것 이외에도 환경과학원은 지속적으로 측정값이 낮아지도록 하는 결정을 했다.

2013-2015 시범운영기간 중 녹조 세포 내 독소는 빼고 측정

환경부는 2012년 녹조대응 TF에서 설계한 방식대로 2013-2015 기간 동안 낙동강에 조류경보제를 시범운영한다. 그런데 이 기간 동안 녹조 독소를 측정하면서 녹조 세포 내의 독소는 빼고 물에 녹아있는(용존) 독소만 측정했다. 이 사실은 강태구 국립환경과학원 물환경연구과장이 확인했다. 그는 ‘시범운영 기

간에는 용존독소만 측정했고, 정식 운영(2016년 이후)할 때는 세포 내 독소도 포함해서 총독소를 측정했다'고 말했다. 녹조 독소는 물에 녹아 있는 것보다 녹조 세포 내에 든 것이 훨씬 많아서 세포 내 독소를 빼면 측정값은 매우 낮아질 수밖에 없다. 박호동 일본 신슈대 교수(환경독성 전공)는 '수돗물 정수과정에서 녹조 세포가 제거되기 때문에 용존독소만 측정하면 된다는 주장도 있는데, 정수과정에서 세포 내 독소가 밖으로 나오는 경우가 있어서 세포 내 독소도 측정하는 것이 WHO 기준 등 국제적으로 통용되는 방법'이라고 말했다. 이승준 부경대 식품영양학과 교수는 "미국EPA는 독소 양을 측정할 때 얼렸다 녹였다 3번 반복하도록 하고 있는데 그 이유는 녹조 세포 안의 독소가 나오도록 하기 위해서다. 세포 내 독소를 빼는 것은 적절한 방법이 아니다"라고 했다. 실제로 이수진 의원실이 요청해 공개받은 '낙동강 시범운영지점 독소 측정 결과⁹⁾'에 의하면 시범운영 기간 3년 동안 마이크로시스틴-LR을 171회 측정했는데 모두 정량한계미만, 즉 기기가 측정할 수 있는 값 미만으로 나왔다. 이 기간 동안에도 낙동강에 녹조 발생이 매우 심각했지만, 환경부가 운영한 정보제에 따르면 전혀 심각하지 않은 상황이었다.

2016년 조류경보제 정식 실시하면서 표층 제외하고 상, 중, 하층을 섞어 희석하는 채수 방법으로 변경

3년 간의 시범실시 후 2016년부터는 조류경보제를 정식으로 실시하게 되는데 이 때부터는 세포 내 독소도 포함해서 총독소를 측정했다. 그러나 그것을 상쇄하는 변경이 추가됐다. 채수방법을 바꾼 것이다. 이전에는 표층을 뜨는 방법을 쓰다가 이때부터 상층 중층 하층의 물을 떠서 섞는 방법으로 변경했다.¹⁰⁾ 녹조는 주로 물 표면에 떠 있기 때문에 녹조가 없는 중, 하층과 섞으면 희석될 수밖에 없다. 상층의 경우에도 변경된 방식에서는 수심 50cm를 뜨게 돼 있어서 표층은 제외되기 쉬운 방식이다. 이렇게 해서 조류경보제는 녹조의 위험성을 사전에 경고하기보다 '위험이 없다'는 메시지를 주는 수단으로 전락했다.

국민정서와 언론이 무서워서 독소 기준으로 경보 발령 못 하나?

9) '2013 2015 낙동강시범운영지점 조류독소 측정 지점 결과 1' 자료 참조

10) '2016 조류경보제 채수방법 변경 설명자료' 참조

국립환경과학원은 2012년 ‘국가 조류관리 제도개선(안)’에서 ‘조류독소 중심의 발령기준 전환’이 필요하다고 했다(국립환경과학원, 2012c). 그러나 독소를 분석할 수 있는 기반을 확충한 뒤 ‘조류독성농도를 발령기준 항목으로 설정’한다고 결론냈다. 분석장비 등이 갖춰지면 발령기준을 남조류 세포 수가 아니라 독소 농도로 바꿔야 한다고 명시한 것이다. 그러나 그로부터 10년이 지난 지금도 과학원은 세포 수를 세고 있다. 그 이유는 무엇인가?

환경부는 조류경보제를 실시하기 위해 전문가들의 의견을 여러차례 수렴하는데 그 의견 중에는 독소를 기준으로 할 경우 부작용이 있을 것이라는 우려가 여럿이다. K대 H교수는 ‘국민적 정서와 언론에 의한 호도 가능성을 감안할 때 독소로 기준을 전환하는 것은 신중해야 한다’고 했고, C대 C교수는 ‘독소에 대한 연구가 안 돼 있어 부적절하다’고 했다. J교수는 ‘낙동강 일부 수역에서는 마이크로시스틴 독소 농도가 1 μ g/L를 상회하는 경우가 다수 발생하므로 마이크로시스틴 농도를 지표로 도입하는 것은 신중하게 결정되어야 한다’고 했다. 그는 ‘조류독소 분석 자료를 갖고 있을 경우 언론 및 국회에서 자료제시 요구 시 국민에게 공지되어 불안감을 가중할 우려가 있음’이라고도 했다. 남조류 세포수는 위해성을 정확하게 반영하지 못한다는 의견도 있었지만, 조류전문가 포럼은 결국 남조류 세포수를 기준으로 경보를 발령하는 방법을 유지할 것을 추천했다. 전문가들의 의견을 수렴한 보고서는 조류독소로 기준을 전환하면 “정수처리로 문제가 되지 않는 남조류 독소에 대하여 대국민의 지나친 정서적 불안감을 조성하여 사회경제적 여파를 야기할 가능성 있음.”이라고 돼 있다(환경부, 2014). 녹조의 위험성에 대해 가장 잘 아는 일부 전문가들이 환경부의 우려에 편승해서 제도를 왜곡시키는 역할을 한 것이 아닌지 우려되는 대목이다.

지난 해 10월 한정에 환경부 장관은 이수진 의원의 질의에 대한 답변에서 조류경보제를 바꿀 필요성을 인정했다. 그런데 한 장관 답변 이후 환경부는 다시 전문가들을 모아 조류경보제에 대한 의견을 수렴하고 있고, 그 포럼에는 과거 문제성 있는 의견을 냈던 전문가들이 일부 참여하고 있다. 과연 이번에는 올바른 방향으로 조류경보제가 수정될지 의문이다.

국립환경과학원이 녹조 모니터링 방법을 배웠다는 호주 아델라이드 대 마이클 버치 교수는 뉴스타파에 다음과 같은 의견을 밝혔다. “세포 수를 세는 방법은 독소를 대신한 지표로 쓰는 것이다. 실제 사람을 위협하는 것은 독소다. 그래서 대부분 기관은 독소를 측정하는 쪽으로 가고 있다. 물론 세포 수 세는 방법과 독소 측정 두 가지 다 하는 기관들도 많다. 그러나 지금은 독소측정이 더 바람직하다. 측정기술이 더 광범위하게 퍼졌고 또 비용도 낮아졌기 때문이다.

“

※ 취재 편의를 위해 조류경보제 관련 참고 자료는 환경운동연합 누리집 (www.kfem.or.kr)에 올리겠습니다.

※ 참고 자료 리스트는 다음과 같습니다.

1. 2008년 조류예보제 운영 매뉴얼
2. 2012 국가 조류관리 제도개선(안)
3. 2012 국가 조류관리 제도개선(안) 제출
4. 2012 조류 대응 TF 추진 계획 보고
5. 2012 조류경보제 측정지점
5. 2013~2015 낙동강시범운영지점 조류독소 측정 지점 결과 1
6. 2014 저류전문가 포럼 운영을 통한 조류관리제도 개선방안 연구 최종보고서
7. 2016 조류경보제 채수방법 변경 설명자료
8. 2018 조류경보제 지점 추가 지정(물금 매리 취수장) 건의 사항 보고
9. 2020 조류경보제 운영 매뉴얼
10. Monitoring_Strategies_for_Management_of_CyanobacteriaBlue_Green

V. Q&A

Q1 : 마이크로시스틴의 섭취 건강 가이드 라인 농도를 WHO는 0.04 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 정하고 있고 미국 EPA는 0.05 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 로 잡고 있습니다. 캘리포니아주는 이보다 더 낮은 0.0064 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 정하고 있습니다. 또 음용수 가이드 라인은 미국 EPA보다 더 엄격한 0.03ppb로 설정해 가고 있습니다. 각 기관별로 가이드 라인이 다른 이유는 무엇인지요?

A : 작물의 재배 방법 및 시기, 식품 가공, 섭취량, 요리법 등을 고려하여 가이드 라인은 각 국가별 차이가 있을 수밖에 없습니다. 또한 현재까지 진행된 연구 결과를 이용하여 가이드 라인 설정합니다. WHO, 프랑스, 미국 EPA 등 이런 부분들을 고려하여 가이드 라인을 설정하였지만, 미국의 경우 주별 가이드 라인이 별도로 존재하기도 합니다. 캘리포니아주는 최신 간 독성 연구와 생식 관련 연구를 바탕으로 미국 연방정부 가이드 라인보다 더 민감하게 기준을 제시하고 있습니다.

Q2 : 캘리포니아주 환경건강위험평가소(OEHHA)는 정자 수 감소(Decline in sperm number) 등 생식 독성 가이드 라인의 경우 0.0018 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 프랑스 식품환경위생노동안전청(ANSES)은 0.001 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 잡고 있는데, 생식 독성 기준을 더 낮게 정하는 건 어떤 의미인가요?

A : 마이크로시스틴은 간 손상뿐만 아니라 생식에 더 낮은 농도로 민감하게 반응한다는 최신 연구 결과를 반영한 것입니다. 미량의 마이크로시스틴이라도 정자 수 감소와 난소에 악영향에 미칠 수 있다는 것입니다.

Q3 : 실린드로스퍼몹신의 경우 경기도에서 실린드로스퍼몹신 유발 유전자를 발견했다는 보고서(경기도보건환경연구원, 2021)와 서울 한강에서 실린드로스퍼몹신이 검출되지 않았다는 언론 보도(이정현, 2014)가 있습니다. 실린드로스퍼몹신 독성이 검출된 것은 이번이 처음인지요?

A : 수자원공사에서 원수에 대해서 한 번씩 검사하는 걸로 아는데, 이 부분은 확인이 필요합니다. 2021년 7~8월 낙동강 및 금강 물 샘플에서 cyanotoxin의 한 종류인 실린드로스퍼몹신 생성 유전자가 검출되었습니다.

이미 과거 연구에서 실린드로퍼몹신 유전자가 우리나라 강에서 검출된 사례는 있습니다. 다만 이번에는 그 독성 물질을 측정하였습니다. 독성 유전자는 실린드로퍼몹신을 생성할 수 있는 가능성을 보여준 것이며 독성 물질은 실제로 우리나라 하천에 존재하는 독성 물질의 양을 보여준 사례입니다. 실린드로퍼몹신은 간 및 신장 독성 물질이며 미국 EPA에서도 관리 대상 물질입니다. 낙동강 및 금강 레저활동, 농업용수 등에서 검출되었습니다.

Q4 : UNESCO는 2060년까지 녹조가 계속 올라갈 거라 전망했다고 하는데, 주요 내용은 무엇이었는지요?

A : 평균온도가 1~2도만 올라가도 녹조가 전 세계적으로 심각하게 번성할 것이라고 합니다. 국외 녹조 관련 석학분들이 현재 기후변화를 고려해보면 2060년까지 녹조는 발생이 더 빈번하고 심각해질 거라고 예상합니다. 또한 Cyanotoxin은 분해가 어려운 독성물질로 생물 축적에 관한 이야기도 하였습니다.

Q5 : 우리나라 녹조 번성 지역의 경우, 물이 흐르지 못하고 과도한 비료 사용 등을 녹조 번성 원인으로 볼 수 있을 것 같습니다. 특히 녹조 발생과 농업 비료 사용량과 관련해 미국 등에서는 어떻게 하고 있는지요?

A : UNESCO 녹조 컨퍼런스에서 남세균에 대한 세계적 대가인 한스 펄 교수가 남세균이 번성하는 조건으로 체류시간과 비료의 사용을 중요하게 강조하였습니다. N, P, K의 비료 사용은 결국 남세균이 번성하는 유리한 조건을 만들게 됩니다. 미국에서는 이런 비료의 사용을 남용하지 않도록 하기 위해 비료 사용량이나 처리 시기 등을 농민들에게 알려주고 과도하게 비료가 인근 하천으로 가지 않도록 노력합니다. 또한 지역 농민, 과학자, 지자체 환경단체들과 끊임없이 소통하여 지속가능한 농업환경을 구축하기 위해 많은 노력을 하고 있습니다. 연구 분야에 많은 지원을 통해 강으로 유입되는 양을 줄이기 위한 방법을 구축하고 녹조를 예측하고 관리하기 위한 모델 및 방법에 끊임없이 주의를 기울이고 있습니다.

Q6 : 이번 쌀, 배추, 무 분석은 ELISA 키트로 했는데, LC-MS/MS와 어떤 차이가 있는지요?

A : ELISA 키트와 LC-MS/MS 모두 마이크로시스틴을 측정하기 위해 널리 사용되는 연구 방법입니다. 다만 정확도 면에서 LC-MS/MS가 높지만 100종이 넘는 마이크로시스틴을 모두 측정할 수 없기 때문에 다양한 MC를 측정할 수 있는 ELISA 키트로 이용합니다.

VI. 기자회견문

4대강 남세균의 경고, 응답하라 대선 후보여

‘한국인의 밥상’이 위험하다. 4대강사업으로 만들어진 ‘녹조라떼’ 독성이 우리 식탁에서 검출됐다. 이 녹조라떼가 바로 남세균(Cyanobacteria)이며, 남세균이 내뿜는 독성(Cyanotoxin)이 마이크로시스틴(Microcystin)이다. 녹조라떼 창궐 10년이 넘도록 국민의 생명과 안전의 담지자로서 국가는 어디에 있었는가? 녹조 관련 국내외 전문가와 민간단체가 수없이 사회적 경종을 울렸음에도 정부는 그동안 무엇을 했는가?

“음식으로 고치지 못하는 병은 의사도 고치지 못한다.”라는 게 의학의 시조인 고대 그리스 히포크라테스가 한 말이라 한다. 동양에서도 ‘병은 밥으로 잡고 그래도 낫지 않을 땐 약을 쓴다’라는, 즉 ‘밥이 보약’이라는 인식이 있다. 먹거리가 그만큼 중요하기에 동서고금의 어떤 시대, 어느 나라에서도, 보수·진보 등 이념 성향과 상관없이 국민 먹거리 안전은 언제나 최우선 정책이었다.

불행히도 세계 경제 순위 10위 권의 21세기 대한민국 먹거리에서, 그것도 우리 국민의 주식인 쌀과 우리 민족 전통 음식 재료인 배추와 무에서 청산가리(시안화칼륨) 100배 이상의 독성을 지닌 마이크로시스틴이 검출됐다. 2010년 국제암연구기관(IARC)은 마이크로시스틴(LR)을 ‘인간에게 발암 가능성이 있는 물질’로 분류했다. 마이크로시스틴과 같은 남세균 독성은 간 독성, 신경독성, 뇌 질환 유발 물질이라는 것이 국내외 전문가들의 연구 결과다. 더욱이 최근 극히 소량의 마이크로시스틴이라도 정자 수 감소, 난자 악영향 등 생식 독성을 유발한다는 연구 결과가 나오고 있다. 그에 따라 이미 프랑스 등에서는 관련 기준을 대폭 강화하고 있다. 이번 조사 결과 마이크로시스틴이 쌀과 무, 배추에서 프랑스 식품환경노동위생안전청(ANSES) 생식 독성 가이드 라인의 2~6배, 많게는 11배가량 높게 검출된 것으로 추산된다.

안타깝게도 이번 결과 역시 예견됐다. 2021~2022년 민간단체가 주관한 국내 마이크로시스틴 실태 관련 조사는 경향성이 뚜렷했기 때문이다. 지난해 8월 낙동강, 금강에서 마이크로시스틴이 최대 7,000ppb가 검출됐다. 미국 환경보호청(EPA) 물놀이 금지 가이드 라인(8ppb)의 875배가 넘는 수치다. 분석을 맡은 부경대 이승준 교수마저 “이렇게 높은 수치는 처음 본다.”라며 혀를 내두를 정도였다. 이 정도 상태의 물로 식수를 만들고 농사를 짓는다는 것은 ‘환경 후진국’에서조차 있어서 안 된다. 마이크로시스틴은 끓여도 분해되지 않는 물질로서, 국민의 건강과 생명을 심각하게 위협하기 때문이다.

그동안 정부는 ‘녹조 독성은 농작물에 축적되지 않는다’라는 밝혀왔다. 그러나 지난 10월 민간단체 주관 실험(녹조 물로 키운 상추)에서 농작물에 마이크로시스틴이 축적된다는 사실을 국내에서 처음으로 밝혀졌다. 그리고 이번엔 실험환경이 아닌 낙동강,

금강 노지 재배 쌀과 배추, 무에서 마이크로시스틴이 검출됐다. 물속 고농도 남세균 독성이 주변 농작물에 축적되는 경향성이 이번 결과를 통해 확인된다. 이는 해외 연구 결과와도 같은 맥락이다.

이번 조사 결과는 여러 우려를 낳게 한다. 녹조 번성 시기가 지난 11월 채집한 쌀과 배추, 무에서 마이크로시스틴이 검출됐다는 것은 녹조 번성 시기 출하 작물의 경우 더 고농도 독성이 포함될 수 있다는 걸 가정하게 한다. 또 해외 사례처럼 다른 작물과 어패류에서도 축적될 수 있다. 농산물은 지역 내 소비뿐만 아니라 전국으로 유통된다. 원산지 표시제는 ‘국내산’만 돼 있을 뿐 녹조 창궐 지역에 대한 정보는 알 수가 없다. 따라서 시기별, 지역별로 체계적인 조사가 반드시 있어야 한다.

충격적인 소식은 또 있다. 이번 조사에서 남세균의 또 다른 독성인 실린드로스포몹신(Cylindrospermopsins)이 확인됐다. 미국, 캐나다에서 강과 호수 상태를 진단할 때 대표적으로 측정하는 것이 실린드로스포몹신이다. 간 독성, 신장 독성을 유발하는 이 독성은 마이크로시스틴과 만났을 때 독성을 더욱 배가시킨다는 연구가 있다. 이번 조사에서 실린드로스포몹신이 강에서뿐 아니라 인접 지역 지하수에서도 검출됐다. 해외에선 이미 녹조 창궐 지역 지하수에서 독성이 검출된다는 연구가 있듯이, 우리도 남의 문제가 아니게 됐다. 맹독성을 지닌 마이크로시스틴과 실린드로스포몹신 검출은 우리 사회가 제대로 대책을 마련하지 않았다는 점에서 말 그대로 부끄러운 자화상이다. 또 이들 물질은 우리 강의 상태가 정말 심각하다는 걸 말해준다. 정부는 남세균 독성 관련 위험평가, 위험관리, 위험 소통에 소홀하면서 민간단체 참여 위험 거버넌스를 의도적으로 무시했다. 그에 따른 피해는 결국 우리 국민이 보고 있다.

4대강사업 이후 지난 10년 넘게 남세균은 우리 사회에 경고를 보냈다. 우리 강이 심각하게 병들어 있다는 걸. 우리는 역사를 통해 강이 지속가능하지 않았을 때 사람도 지속가능하지 않다는 걸 알고 있다. 역으로 강의 자연성이 회복되면 현세대는 물론 미래 세대에게도 그 혜택이 돌아간다는 것도 알고 있다.

이제 대선 후보들이 나서야 한다. 후보들이 남세균 독성 문제 해결을 위한 공약과 정책을 제시해야 한다. 생식 독성에 대한 기준을 강화하면서 남세균 독성 문제를 종합적 해결을 위해 민간 전문가, 민간단체와 함께 위험평가, 위험관리, 위험 국민 소통부터 다시 해야 한다. 우리 국민건강과 직결된 우리 강 자연성 회복은 민생문제이자 국민 안전 문제라는 점을 망각해선 안 된다. 우선 막혀 있는 보 수문부터 열어야 한다.

대선후보들이여! 민생문제·국민 안전 문제인 우리 강 자연성 회복에 즉각 응답하라!

2022.02.08

더불어민주당 양의원영 의원·더불어민주당 이수진 의원(비례)·대구환경운동연합
<오마이뉴스>·<뉴스타파>사) 세상과 함께·환경운동연합

참고 자료

- 경기도보건환경연구원. 2021. 「2020년 경기도 내 주요 저수지 식물플랑크톤 조사 보고서」
- 국립환경과학원. 2012a. “국가 조류관리 제도개선(안) 제출” 2012.11.05. 공문
-----, 2012b. “조류 대응 T/F 추진계획 보고”
-----, 2012c. 「국가 조류관리 제도개선(안)」 2012.11.02.
- 김기범. 2016. “‘붕어에 남조류 독성물질’ 첫 확인” <경향신문>. 2016.08.11.
- 김영순. 2007. “음식으로 고치지 못하는 병우녀 의사도 못 고친다” <시사저널> 2007.04.16.
- 낙동강유역환경청. 2018. “조류경보제 지점 추가 지정(물금, 매리 취수장) 건의사항 보고” 공문
- 뉴스타파. 2021. “녹색강의 습격” 2021.07.02.
- 다카하시 토루. 2017. “녹조와 하천재생 - 이사하야만과 4대강” 서울환경운동연합 「2017 한강시민대학 특별강연」 자료집
<https://blog.naver.com/seoulkfem/221048804166> (최근 검색일. 2022.02.06.)
- 박호동. 2016. “시민의 식수 낙동강 녹조 안전한가? 우리의 해결 방안은?(PPT)” 부산 먹는물 정책과 녹조문제 토론회(2016.11.11.)
- 안대훈. 2017. “낙동강 바닥 퇴적층서 간질환 유발 독소 검출” <경남신문>. 2017.05.28.
- 우영탁. 2021. “또 녹조 부작용 연구용역... 환경부 4대강 트라우마?” <서울경제>. 2021.10.11.
- 이승준. 2021a. “강 뒤덮은 녹조, 시아노박테리아에 대해” 「함께 사는 길」 2021년 10월 호
-----, 2021b. “남세균 대발생(녹조)이 환경 및 건강에 미치는 영향”(PPT) 환경운동연합 간담회(2021.06.10.)
- 이정현. 2014. “서울시 ‘조류주의보 발령구간 독소 미검출’<연합뉴스> 2014.08.08.
- 정영민. 2016. “조류독소 검출... 수돗물+농업용수 비상” <MBC> ‘경남 뉴스테스트’ 2016.06.29.
- 환경부 국립환경과학원. 2008. 「조류예보제 운영 매뉴얼」
-----, 2020. 「조류경보제 운영 매뉴얼(2020)」
- 환경부. 2014. 「조류전문가 포럼 운영을 통한 조류관리제도 개선방안 연구 최종보고서」. 2014.12
- 환경운동연합. 2011. “한국 4대강사업은 복원을 가장한 파괴” 환경운동연합 보도자료. 2011.10.13
- CA EPA OEHA. 2021. 「RECOMMENDATION FOR INTERIM NOTIFICATION LEVELS FOR SAXITOXINS, MICROCYSTINS AND CYLINDROSPERMOPSIN」
- Jiyoung Lee·Seungjun Lee·Xuewen Jiang. 2017. “Cyanobacterial Toxins in Freshwater and Food: Important Sources of Exposure to Humans”