

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.5.661>

JCCT 2023-9-81

## 식용 감미료 사카린과 에이스설팜 칼륨의 식물 성장 저해 연구

### Study of Plant Growth Inhibition with Edible Sweetener Saccharin and Acesulfame Potassium

김동균\*

Donggiun Kim\*

**요약** 시판 중인 식용 감미료 5종류는 자당을 대체할 수 있는 물질이기에 다이어트 제품으로 사용된다. 동물과 인체에 끼치는 영향에 관한 연구에서 동물세포의 특징 실험으로 배출 중심 연구를 하여 안정성을 입증해왔고 적은 양의 축적은 무시해왔다. 반면에 식물은 외부 물질을 흡수하여 분해하거나 축적하는 물질대사 작용을 하기에 식물체를 사용하여 분해 가능성과 축적 가능성의 효과를 연구할 수 있다. 발아된 보리와 콩나물을 사용하여 시판 중인 사카린과 에이스설팜 칼륨(에이스 K)의 식물 체내에서 물질대사 영향을 조사하였다. 발아된 보리와 콩나물 성장에서 사카린과 에이스 K 는 식물 성장에 대한 저해 효과를 잎, 줄기, 뿌리에서 저 농도에서부터 모든 기관에서 공통으로 나타났다. 또 시간이 지남에 따라 사멸하는 증상이 명확하게 나타나는 것을 관찰할 수 있어서 식물 체내에 축적된다고 볼 수 있다. 축적된 양이 증가함에 따라 독성효과가 증가하여 식물이 물질대사를 하지 못하는 상태에 이르러 잎 끝부분부터 검정으로 변색하여지고 사멸 상태에 이른다. 축적된 인공감미료를 제거하기 위해서 증류수에서 배양하여 회생 가능성을 시도하였지만 분해되지 않는 물질로 작용하고, 독성을 피하지 못하고 사멸된다. 이것은 사카린과 에이스 K는 세포 내에서 배출하지 못한다. 독성효과가 계속 되어서 성장을 억제하고 결국에는 세포를 사멸하게 한다고 사료된다.

**주요어** : 인공 감미료, 사카린, 에이스설팜 칼륨, 식물, 성장

**Abstract** Five commercially available edible sweeteners are used as diet products because they can replace sucrose. In studies on the effects on animals and the human body, stability has been proven by excreting-oriented studies with characteristics of animal cells, and accumulation in small amounts has been ignored. On the other hand, plants can absorb, degrade, and accumulate foreign substances, so the effect of degradability and accumulation potential can be studied using plants. Metabolic effects in plants of commercially available saccharin and acesulfame potassium (Ace K) were tested using germinated barley and bean sprouts. In germinated barley and bean sprouts, saccharin and ace K showed inhibitory effects on plant growth in all organs from low concentrations in leaves, stems and roots. In addition, it can be observed that the symptoms of death appear clearly over time, so it can be seen that they are accumulated in the body of the plant. As the accumulated amount increases, the toxic effect increases and the plant reaches a state where it is unable to metabolize, turning black from the tip of the leaf and reaching a state of death. In order to remove the accumulated artificial sweetener, recovery was attempted by culturing in distilled water, but it acts as a substance that is not degraded and dies without avoiding toxicity. Saccharin and ace K cannot be excreted from the cell. Its toxic effects are thought to be persistent, inhibiting growth and eventually leading to cell death.

**Key words** : Edible Sweetener, Saccharin and Acesulfame Potassium, Plant, Growth

\*정회원, 신라대학교 반려동물학과 교수 (제1 저자 겸 주저자) Received: July 30, 2023 / Revised: August 13, 2023

접수일: 2023년 7월 30일, 수정완료일: 2023년 8월 13일

Accepted: September 5, 2023

게재확정일: 2023년 9월 5일

\*Corresponding Author: botanist@silla.ac.kr

Dept. of Companion Animals, Silla Univ, Korea

## 1. 서론

현대인의 건강 문제 중에 가장 급속히 해결해야 하는 것이 비만으로 알려져 왔다. 그것은 비만이 여러 성인병을 발생시키는 원인이기 때문이다. 비만 원인 중 하나는 자당 소비 증가와 비례해서 비만이 동반 상승하고 있어서 분명히 많은 성인병의 원인은 자당의 소비에 따른 비만이 직접 연결된다고 볼 수 있다. 자당의 사용 감소는 성인병 예방이라는 직접적인 공식에 분명하게 적용되기 때문에 설탕 대체제인 감미료 중에서 인공 합성 감미료는 전 세계적으로 확대 보급되고 있다. 그 결과로 많은 감미료가 개발되었고 그것들을 사용하는 산업이 날로 다양하게 발전하여 음식 문화와 연결되고 중요한 산업 요소로 자리매김하여지는 동시에 감미료 첨가한 맛으로 식생활이 고착되어가고 있다 [ 1 ].

자당을 대체하기 위한 노력과 인공감미료의 효과를 높이기 위한 연구 결과로 설탕 대체제로 현재 사용되는 인공감미료는 많은 종류가 개발됐고 앞으로 더욱 더 개발될 것으로 예상된다. 하지만 상용화가 되기 위해서는 여러 까다로운 실험 결과를 통과하여야 한다[2]. 국내외에 합법적으로 사용되는 것은 여러 종류가 있는데 국내 시장에는 합법적으로 다섯 종류가 판매되고 있다. 아스파탐 (Aspartame)은 열에 불안정한 인공감미료 중 하나로, 캔디, 음료 및 저열량 식품에 사용된다. 청량 음료나 다이어트 음료에 자주 사용된다. 슈크랄로스 (Sucralose)는 열에 안정적이며 당의 맛을 가진 인공감미료로, 다양한 식품 및 음료에 사용된다. 대표적으로 '스플렌다(Splenda)'라는 상표명으로 유명하다. 사카린 (Saccharin)은 오랫동안 사용되어 온 인공감미료로, 다이어트 음료, 테이블 탑 신당과 같은 다양한 제품에 사용된다. 특히 청량음료에 널리 사용된다. 네오헤스페리딘 (Neohesperidin)은 주로 식품 및 음료에 사용되는 자연 같은 맛을 가진 인공감미료다. 아세스설파 칼륨 (Acesulfame Potassium)은 아세 K라고도 불리며, 다이어트 음료, 과자, 설탕 대용품 등 다양한 식품에 사용된다. 주로 아스파탐과 함께 사용되는 경우가 많다. 이외에도 몇 가지 다른 인공감미료가 있으며, 이들은 식품 및 음료 산업에서 다양한 용도로 사용된다 [ 3 ].

국내 시장에 시판되고 있는 이 다섯 종류는 많은 찬반 논란이 계속되고 있다. 그 논란의 대부분은 자당 대용으로 사용되어 식용으로 체내에 유입되긴 하지

만 체내에 흡수되지 않아 물질대사의 에너지 물질로 사용 되어 지지 않고 거의 모두가 배설되며, 흡수되더라도 몸 안에서 독성 물질이 아니기 때문에 그 미량이 세포 안에서 독성으로 발전되지 않고 시간이 지나면 자연 소멸한다는 것이다. 이런 모든 실험은 동물 실험 결과였으며 짧은 기간 적은 양을 사용했을 때 실험 결과였다[3].

인공감미료는 식물의 성장, 꽃 피우기, 열매 결실 등과는 직접적인 연관이 없다고 보고됐지만 최근에 여러 종류를 사용한 연구 결과가 보고됐다. 식물 성장과 직접적으로 관련된 인공감미료는 아스파탐을 사용한 연구이다. 발아된 양파, 콩나물, 칼란코에를 재료로 아스파탐 물질대사 영향을 실험하였다. 발아된 뿌리를 가진 식물들에는 아스파탐을 처리한 초기에는 급속히 성장하는 효과를 나타내었다. 하지만 양파에서는 장시간 동안 처리될 때 측근과 유사한 돌기 증상이 목질화된 뿌리 형태로 나타나고, 콩나물에서는 빨리 시들은 현상이 보이며, 12주 된 만생초는 뿌리의 노화 현상이 나타났다 [ 4 ]. 식물에 사카린을 처리해서 미생물 방제와 식물 성장 연구를 하였을 때 사카린은 무게 또는 식물의 잎 면적에 큰 영향을 미치지 않았다. 그러나 사카린은 새로운 이 형성되는 소엽의 수를 줄였다고 보고하였다 [ 5 ]. 그 외의 다른 인공감미료를 사용한 식물연구는 발표가 거의 없다.

식물은 외부 환경의 영향을 받으면 식물 체내에 그대로 흡수하여 배설하지 못하고 생존하기 위해서 적응하는 생리적 기능을 보유하고 있다. 특히 외부 환경 중에서 토양에 존재하는 물질에 반응하여 흡수하고 분해하거나, 분해하지 못하는 물질은 액포 안에 축적하여 생존하는 물질대사를 한다 [ 6 ]. 동물세포가 수행하지 못하는 기능을 수행할 수 있기에 외부 물질의 체내 축적 그리고 세포 내 독성효과를 알기 위해서는 식물세포를 사용하여 활성을 연구하는 것이 효과적이다 [ 7 ].

동물 체내에 미량이 잔류하는 경우 인공감미료의 성분이 분해되지 않고 체내에 축적된다면 그것을 추적하여서 물질대사에 어떤 영향을 끼치는지를 연구하여야 한다. 그 결과로 동물세포 내 세포 독성에 대한 효과를 설명할 수 있기 때문이다. 본 연구실에서는 이런 효과를 설명하기 위해서 식물을 사용하여 사카린과 아세스설파 칼륨의 독성 실험을 하여 인공감미료의 식물에 끼치는 영향을 연구하고 세포 내 독성효과를 보고한다.

## II. 재료 및 방법

### 1) 식물 재료

보리 씨앗을 준비하여 증류수에 담가 3일간 뿌리를 발아시킨 후에 5cm 이상 성장한 재료를 사용하였다. 발아된 식물은 빛 아래에서 영양분 공급이 없어도 빠른 성장을 보인다. 이때 건강하고 크기가 유사한 식물체를 선택하여 여러 농도 (0, 5, 10, 20, 30mM)의 사카린과 아세살팜 칼륨이 녹아있는 비커에 접종하여 수경재배 방법으로 배양시켜서 성장을 2 주 동안 관찰하였다 (Figure 1-4). 식용으로 재배된 메주콩의 콩나물을 마트에서 구매하여 여러 번 흐르는 물에 넣어 씻은 뒤에 1주일 동안 증류수에 배양시켰다. 빠르게 빛 아래 적응한 콩은 자엽이 초록색으로 변하고 잎과 뿌리를 발생한다. 잎과 뿌리가 발생한 콩을 유사한 크기의 실험재료를 선택하여 여러 농도 (0, 5, 10, 20, 30mM)의 사카린과 아세살팜 칼륨이 녹아있는 비커에 접종하여 수경재배 방법으로 배양시켜서 성장을 3 주 동안 관찰하였다 (Figure 6).

### 2) 인공감미료

수경재배에 3차 증류수를 사용하였고, 배지 제조에 사용한 사카린과 아세살팜 칼륨은 쿠팡에서 시판하는 일반 판매용을 분말 상태로 구매하여 분자량에 맞추어 배지로 제조하였다. 모든 배지는 autoclave (121°C, 20분)를 하였다[ 4 ].

### 3) 배양 조건과 방법

수경 배양 상태는 빛과 온도를 유지하기 위해서 incubator에서 성장시키며, 20~25°C의 온도에 24시간 중 12시간을 빛을 처리하였고, 암 처리로 12시간을 설정하여 배양하였다. 1,010 lux의 광도로 조도를 유지하기 위해서 배양용 Plant Growth 램프를 사용하여 빛을 제공했다. 습도는 식물이 성장할 때 50~80%로 유지하여 건조할 수 있는 스트레스를 감소시켰다. 콩나물을 실내에서 위와 같은 조건의 조도와 온도 상태에서 배양하였다.

### 4) 인공감미료 제거하기 위한 회생 실험

식물 체내에 축적된 인공감미료를 제거하기 위해서 1주일 동안 여러 농도에서 성장한 보리를 3회 충분한 증류 수를 사용하여 뿌리와 식물체를 물로 씻었다. 그리고 준비된 증류수에서만 성장하도록 환경을 유지하면서 1주일 동안 관찰하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1) 보리의 성장에서 사카린 효과

식물을 재배하기 위해서 탄소원을 첨가하거나, 영양소를 첨가하여 성장을 촉진한다. 하지만 발아 초기에는 충분한 영양소가 배와 배유에 들어 있어서 외부에서 첨가할 필요는 없다. 특히 보리 씨앗은 발아 초기에 알파 아밀라아제가 합성되어서 배유에 있는 녹말을 분해하고 포도당이 이동되어서 보리가 발아하며 성장할 수 있도록 탄소원을 충분히 공급한다. 하지만 본 연구에서는 식물이 운반용 탄소원인 자당과 유사한 특징을 나타내는 인공감미료를 외부에서 공급된 탄소원으로 활용성을 관찰하기 위해서 사카린을 첨가하여 성장 실험을 시도하였다( Figure 1).

### Effect of various concentration of Saccharin

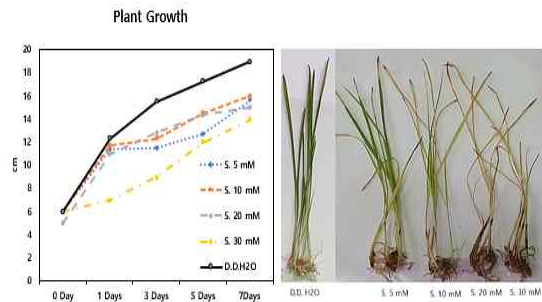


그림1. 여러 농도의 Saccharin(S.)에 따른 보리의 성장 효과. 왼쪽 사진은 7일 동안 4종류 농도에 따른 길이(cm) 성장 효과이고, 오른쪽 사진은 그 후 10일 동안 더 진행 후 결과이다. Figure 1. Growth effect of barley according to various concentrations of Saccharin (S). The left picture is the length (cm) growth effect according to the 4 types of concentrations for 7 days, and the right picture is the result after further progress for 10 days thereafter.

5에서 20mM까지의 사카린 농도에서는 초기 3일 까지 성장 기간에는 사카린의 영향이 미미하였지만 4일째부터는 모든 농도에서 저해 효과를 나타내었다. 특히 30mM 고농도에서는 처음부터 성장이 뚜렷이 저해되었다. 그리고 4일 후부터는 사카린의 여러 농도에서 식물의 성장이 저해되는 효과를 나타냈다. 성장이 정지된 후 배유에서 공급되는 한정된 영양분의 양으로 성장이 모두 멈췄다. 증류수에서 배양된 보리는 건강한 상태이지만, 사카린에 배양된 식물은 사카린 농도가 높아질수록 성장

이 저해되는 효과가 나타났고 10일이 지난 후에 사카린에 노출된 모든 보리는 사멸되었다. 이것은 농도에 비례해서 독성효과가 크다는 것을 보여주며, 광합성 작용과 더불어 종합적인 물질대사 작용이 저해 받고 있다는 증거로 사료 된다(Figure 1 right ).

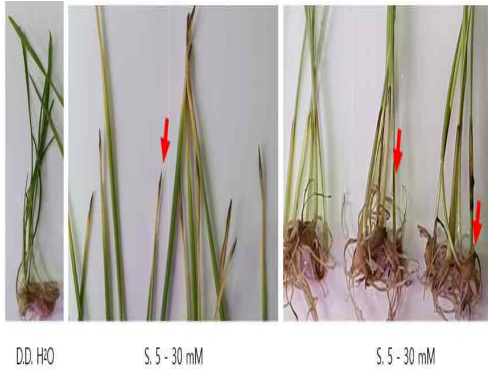


그림 2. 여러 농도의 Saccharin (S.) 처리 1주 후 보리의 여러 기관의 모양 비교.

Figure 2. Comparison of the appearance of different organs of barley after 1 week of treatment with different concentrations of Saccharin (S.).

여러 농도에서 사카린을 처리한 후에 보리의 잎, 줄기, 뿌리 상태는 성장 저해되는 효과를 명확히 볼 수 있었다. 잎끝이 모두 사카린 첨가 배지에서 검정으로 변색 된 것을 관찰할 수 있었다. 농도가 높을수록 검정으로 변색 경향이 컸고 잎이 말라 비틀어 들어가는 증상도 커지는 것을 관찰할 수 있었다. 줄기도 잎과 같이 농도에 따라 변색 정도가 짙어져 갔다. 뿌리는 저농도에서는 짙은 검정으로 보이지 않았지만, 고농도에서는 검정으로 변색하는 것을 관찰할 수 있었다. (Figure 2). 증류수에서만 배양된 대조군과 비교해 볼 때 사카린의 식물 성장에 대한 저해 효과는 명확하게 여러 기관에서 관찰할 수 있고 고농도에 따라 모든 기관에서 공통으로 나타났다. 또 시간이 지남에 따라 사카린에 노출된 증상이 명확하게 나타나는 것을 관찰할 수 있어서 사카린은 식물 체내에 축적된다고 볼 수 있다. 축적된 사카린이 증가함에 따라 독성효과를 나타내어 식물이 물질대사를 하지 못하는 상태에 이르러 잎 끝부분부터 검정으로 변색하여지고 사멸 상태에 이른다 (Figure 1).

2) 보리의 성장에서 Acesulfame Potassium 효과

식물이 운반용 탄소원인 자당과 유사한 특징을 나타내는 또 다른 인공감미료를 외부에서 공급된 탄소원으로 활용성을 관찰하기 위해서 Acesulfame Potassium (에이스 칼륨, 이하 AK)을 첨가하여 성장 실험을 시도하였다(Figure 3 ). 5 mM AK 농도에서부터 고농도까지 성장 저해 효과를 나타내었다. 사카린보다 성장이 늦고 성체가 되었을 때도 작았다. 특히 30mM 고농도에서는 처음부터 성장이 뚜렷이 저해되었던 사카린에 성장한 것에 비해 크기가 커 보이는 것은 실험 시작할 때 실험체의 크기가 다른 농도에서 배양된 것보다 커서 실질적 성장 저해 효과가 늦게 나타났다. 실제 성장물은 다른 농도의 식물보다 결과적으로 적다. 그리고 3일 후부터는 AK의 여러 농도에서 식물의 성장이 저해되는 효과를 나타냈다. 30 mM AK 농도에서 성장한 식물체가 가장 먼저 성장이 정지되었고 사멸되었다.

Effect of various concentration of Acesulfame Potassium

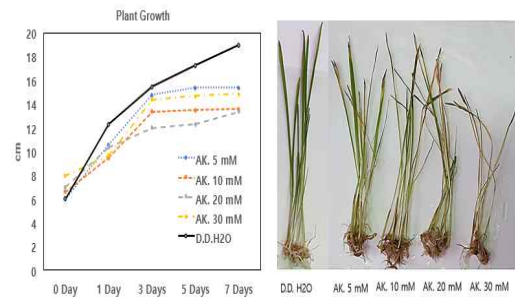


그림 3. 여러 농도의 Acesulfame Potassium (AK.)에 따른 보리의 성장 효과. 왼쪽 사진은 7일 동안 4종류 농도에 따른 길이(cm) 성장 효과이고, 오른쪽 사진은 그 후 10일 동안 더 진행 후 결과이다.

Figure 3. Growth effect of barley by different concentrations of Acesulfame Potassium (AK.). The left picture is the length (cm) growth effect according to the 4 types of concentrations for 7 days, and the right picture is the result after further progress for 10 days thereafter.

다른 식물도 성장이 정지된 후 배양에서 공급되는 한정된 영양분의 양으로 성장이 모두 멈췄다. 하지만 증류수에서 배양된 보리는 건강한 상태이었다. AK에 배양된 식물은 AK 농도가 높아질수록 성장이 저해 효과가 나타났고, 10일이 지난 후에 AK에 노출된 모든 보리는 사멸되었다. 이것은 농도에 비례해서 독성효과가 크다는

것을 보여주며, 광합성 작용과 더불어 종합적인 물질대사 작용이 저해 받고 있다는 증거로 사료 된다(Figure 3 right).



그림 4. 여러 농도의 Acesulfame Potassium (AK.) 처리 1주 후 보리의 여러 기관의 모양 비교.

Figure 4. Comparison of the appearance of different organs of barley after 1 week of treatment with different concentrations of Acesulfame Potassium (AK.).

5 mM 농도의 AK를 처리한 후에 보리의 잎, 줄기 뿌리 상태는 성장 저해 효과를 명확히 볼 수 있었다 이것은 사카린을 처리한 것보다 더 성장 저해 효과가 나타났음을 보여준다. 잎끝이 모두 AK를 첨가한 배지에서 검은색으로 변색 된 것을 관찰할 수 있었다. 농도가 높을수록 검정으로 변색 경향이 컸고 잎이 말라 비틀어 들어가는 증상도 커지는 것을 관찰할 수 있었다. 줄기도 잎과 같이 농도에 따라 변색 정도가 깊어져 갔다. 뿌리도 사카린을 처리한 식물보다 AK 처리한 식물에서 저 농도에서부터 고농도에까지 검정으로 더 변색 되는 것을 관찰할 수 있었다. ( Figure 4 ) 증류수에서만 배양된 대조군과 비교해 볼 때 AK가 끼치는 식물 성장에 대한 저해 효과는 명확하여 여러 기관에서 관찰할 수 있고 고농도에서는 더욱 심해지는 증상이 모든 기관에서 공통으로 나타났다. 또 시간이 지남에 따라 사멸하는 증상이 명확하게 나타나는 것을 관찰할 수 있어서 AK는 식물 체내에 축적되어 진다고 볼 수 있다. 축적된 AK 량이 증가함에 따라 독성 효과를 증가하여 식물이 물질대사를 하지 못하는 상태에 이르러 잎 끝부분부터 검정으로 변색 되고 사멸 상태에 이른다(Figure 3).

### 3) 콩나물에 처리한 인공감미료의 효과.

콩이 발아된 콩나물을 구매하여 사카린과 AK의

농도 영향을 관찰하기 위해서 자엽에서 새잎이 돋고 뿌리가 발생하여서 독립 영양 생활이 가능한 식물을 선택하여 3주 동안 진행하였다. 탄소원으로 첨가한 4종류의 농도의 사카린과 AK를 증류수에 첨가하여 수경재배를 빛 아래에서 실시하였다. 성장하는 과정에서 농도별 특이점이 나타났다. 처음에는 성장 저해 효과가 나타났고 20 mM부터 고농도에서는 변색과 사멸 현상이 급속도로 진행하여 시들어 갔다 (Figure 5).



그림 5. 콩나물에 4 종류의 Saccharin(A)과 Acesulfame Potassium(B) 농도에 따른 성장 저해 효과.

Figure 5. Growth inhibition effect of 4 kinds of Saccharin (A) and Acesulfame Potassium (B) concentration on bean sprouts.

사카린과 AK 농도를 보리의 성장에 비교하여보면 AK가 사카린보다 성장 저해 효과가 빨리 효과적으로 나타났다. 그리고 보리와 같이 모든 기관에 변색과 사멸 현상이 두 인공감미료에 나타났다. 성장 저해 정도는 AK이 더 심각하였다. 보리의 성장 저해 효과와 독성을 비교하여보면 보리가 더 빠른 시간에 급속히 사멸해갔는데 고농도에서 보리는 2주 기간이 필요하지만, 콩나물은 4주 기간이 필요하다. 이것은 식물체의 특이점도 작용한다고 보이지만 우리 실험에서 시작 실험체의 크기가 클수록 저해 효과가 늦게 나타나는 것으로 볼 때 ( Figure 3 ) 콩나물의 무게와 질량이 보리보다 커서 천천히 축적되고 서서히 물질대사에 영향을 준다고 사료 된다.

### 4) 축적된 인공감미료를 제거하기 위한 회생 실험

흡수된 인공감미료의 독성을 식물이 극복할 수 있는지를 알아보기 위해서 일 주 동안 4종류의 농도의 인공감미료에 배양시키고 난 후 이어서 일 주 동안 증류수에서 배양하였다. 처음 일 주 동안 사카린 농도에 따라서 식물 성장에 차이가 나타났다. 즉 저 농도에서 성장한 식물은 피해가 적게 나타나고 극복하는 것을 보였으나 10

에서부터 30 mM 고농도에서는 저해 효과를 극복하지 못하고 사멸하고 말았다. AK는 더 뚜렷한 독성효과가 나타났다. 식물들이 인공감미료의 독성을 극복하지 못하고 사멸하였다.

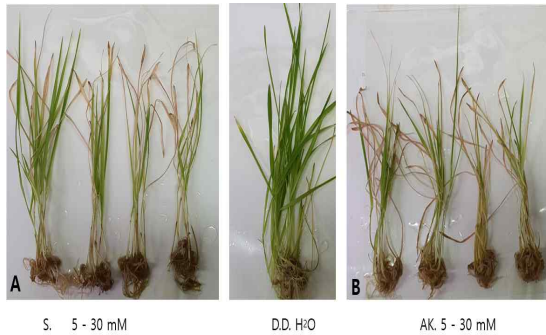


그림 6. Saccharin(A)과 Acesulfame Potassium(B)의 저해 효과를 제거하기 위한 회생 실험

Figure 6. Recovery experiments to remove the inhibitory effects of Saccharin (A) and Acesulfame Potassium (B).

실험에서 사용한 사카린과 AK는 식물에는 외부 물질이다. 식물은 이 외부 물질을 물질대사 작용으로 분해하거나 액포에 축적하는 방법으로 외부 물질의 효과를 활용한다 [ 8 ]. 하지만 우리가 실험한 인공감미료는 식물에서 초기 성장에서부터 성장 저해 물질로 작용할 뿐만 아니라, 분해되지 않는 물질로 작용하고, 액포에 축적되었을지라도 독성을 피하지 못하고 사멸시키고 만다 (Figure 6). 세포 독성을 해결하지 못하는 결과가 나타나는 것은 식물이 분해해서 물질대사 물질로 사용하지 못하는 증거이다. 배출하지 못하고 액포에 저장할지라도 저장된 물질이 독성을 나타내고 계속해서 축적될 때 저장 능력을 상실하는 결과로 사료 된다. 결국 인공감미료인 사카린과 AK는 세포 내에서 배출하지 못한다면 세포 내에서 액포 기능을 무력화시키는 독성효과가 계속되어서 성장을 억제하고 결국에는 세포를 사멸하게 한다.

#### IV. 결론

식물은 외부 물질을 흡수 분해하거나 축적할 수 있으므로 식물을 이용하여 분해 및 축적 가능성의

영향을 연구할 수 있다. 발아된 보리와 콩나물을 사용하여 상업적으로 이용할 수 있는 사카린과 Ace K의 식물에 대한 대사 효과를 테스트했다. 발아된 보리와 콩나물에서 saccharin과 ace K는 낮은 농도에서 모든 기관(잎, 줄기 및 뿌리)의 식물 성장에 억제 효과를 보였다. 또한, 사멸 증상은 시간이 지남에 따라 뚜렷하게 나타나므로 식물체의 체내에 축적되어 있음을 알 수 있다. 축적량이 많아질수록 독성효과가 커져 식물은 물질대사를 할 수 없는 상태에 이르러 잎끝부터 검게 변색하고 사멸 상태에 이른다. 축적된 인공감미료를 제거하기 위한 회피 실험에서 증류수에 배양하여 재생을 시도하였으나 독성을 피하지 못한 상태에 이르고, 분해하지 못하여 성장 저해 물질로 작용하였다. 사카린과 AK는 세포 밖으로 배출되지 못하고 독성효과가 지속되어 결국 성장을 억제하고 세포를 사멸하게 한다.

#### References

- [1] H. E. Gardener, and M. S. V. Elkind, Artificial sweeteners, real risks. *Stroke*. 50(3): 549 - 551. doi:10.1161/STROKEAHA.119.024456, 2019.
- [2] K. Iizuka, Is the use of artificial sweeteners beneficial for patients with diabetes mellitus? The advantages and disadvantages of artificial sweeteners *Nutr Rev.* 1:78(9):725-746. doi: 10.1093/nutrit/nuz099. PMID: 32065635.2020.
- [3] K. Wilk, W. Korytek, M. Pelczyńska, M. Moszak, and P. Bogdański, The effect of artificial sweeteners use on sweet taste perception and weight loss efficacy. A Review. *Nutrients*,14, 1261. 2022.
- [4] D. Kim, Does the edible sweetener aspartame stimulate plant growth? *The Journal of The Convergence on Culture Technology*, doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.3.601, 2023
- [5] C. Boyle and D. Walters, Induction of systemic protection against rust infection in broad bean by saccharin: effects on plant growth and development. *New Phytologist* 167: 607 - 612 doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01439. 2005.
- [6] H. Takatsuka, T. Higaki, and M. Ito, At the nexus between cytoskeleton and vacuole: How plant cytoskeletons govern the dynamics of large vacuoles *Int. J. Mol. Sci.* 24, 4143.

- doi.org/10.3390/ijms24044143, 2023.
- [7] S. S. Sharma, K. Dietz, and T. Mimura. Vacuolar compartmentalization as indispensable component of heavy metal detoxification in plants .Plant, Cell and Environment 39, 1112 - 112, 2016
- [8] X. Tan, K. Li, Z. Wang, K. Zhu, X. Tan, and J. Cao, A review of plant vacuoles: formation, located proteins, and functions. Plants 8, 327. 2019