

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.3.601>

JCCT 2023–5–68

## 식용 감미료인 아스파탐은 식물의 성장을 촉진하는가?

### Does the Edible Sweetener Aspartame Stimulate Plant Growth?

김동균\*

Donggiun Kim\*

**요약** 식용 감미료 아스파탐은 아미노산 중 하나인 아스파라긴과 페닐알라닌의 합성으로 형성된 것이다. 자당보다 200배 높은 단맛을 내는 단백질 성분으로 당 대체할 수 있는 물질이기에 다이어트 제품으로 사용된다. 동물과 인체에 끼치는 영향에 관한 연구는 잘 되어있지만, 식물 대사에 관한 연구는 된 적이 없다. 본 연구에서 발아된 양파, 콩나물, 칼란코에를 재료로 아스파탐 물질대사 영향을 실험하였다. 발아된 뿌리를 가진 3종류 식물은 1mM 아스파탐을 처리한 초기에는 급속히 성장하는 효과를 나타내어 구성 성분인 아미노산 영향으로 영양분 공급 효과를 보인다. 하지만 4주 동안 처리될 때 측근과 유사한 돌기 증상이 양파에서 목질화된 형태로 나타나고, 빨리 시들은 효과가 콩나물에서 보이며, 뿌리의 노화현상이 12주 된 칼란코에에서 나타난다, 모두 성장 단계를 지나서는 노화 촉진 현상을 보인다. 이것은 구성 성분인 두 종류 아미노산 중에 아스파라긴은 급성장을 유도하는 옥신 발생과 관계가 있다고 보여 주고, 페닐알라닌 효과로 목질화 현상이 나타나는 결과로 생각하여진다.

**주요어** : 식용, 인공 감미료, aspartame, 식물, 성장

**Abstract** The edible sweetener aspartame is formed from the synthesis of asparagine, one of the amino acids, and phenylalanine. It is a protein ingredient that produces sweetness 200 times higher than sucrose, and is used as a diet product because it is a substance that can replace sugar. Although the effects on animals and humans have been well studied, no studies have been conducted on plant metabolism. In this study, the effect of aspartame metabolism was tested using germinated onion, bean sprouts, and Kalanchoe. The three types of plants with germinated roots showed rapid growth in the early stage of treatment with 1mM aspartame, and showed a nutrient supply effect due to the effect of amino acids, which are constituents. However, when treated for 4 weeks, symptoms similar to lateral roots appear in the form of lignification in onions, the effect of quickly withering is seen in bean sprouts, and senescence of roots appears in 12-week-old Kalanchoe. All of them show accelerated aging after the growth phase. This shows that, among the two amino acids, asparagine is related to auxin generation that induces rapid growth, and it is thought to be the result of lignification due to the effect of phenylalanine.

**Key words** : Edible, Sweetener, Aspartame, Plant, Growth

\*정회원, 신라대학교 반려동물학과 교수 (제1 저자 겸 주저자) Received: March 28, 2023 / Revised: April 13, 2023

접수일: 2023년 3월 28일, 수정완료일: 2023년 4월 13일

Accepted: May 3, 2023

게재확정일: 2023년 5월 3일

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

Dept. of Companion Animals, Silla Univ, Korea

## I. 서론

아스파탐은 1965년 James M. Schlatter에 의해 발명되었다. Schlatter는 항케양제 연구의 하나로 이 화합물을 얻었다가 단맛의 효과로 식품 첨가물로 이 화합물이 사용되게 되었다. 1981년에 대규모 생산이 시작되어 NutraSweet으로 판매되었다. 감미료로서 아스파탐의 매력은 설탕보다 약 200배 더 달콤하고 열량은 같은 농도에서 거의 제로에 가깝다. 그래서 소량을 사용하여 단맛을 창출할 수 있어서 상업용으로 획기적인 발명품이 되었다. 비만 문제에서 해결책을 제시하는 인공 감미료로 탁월한 효과를 기대하게 하고 당뇨병을 자당에 의한 건강 문제를 개선할 수 있는 인공 감미료의 대표적 제품이다[1]. 아스파탐은 두 개의 아미노산(L-아스파라긴산과 L-페닐알라닌)으로 구성된다. 인체 내에서 에스테라제와 펩티다제의 작용을 통해 가수분해되고 위장관(GI)에서 흡수된다. 소화는 메탄올(10%), 아스파르트산(40%) 및 페닐알라닌(50%)을 방출하여 장 점막에서 흡수될 수 있다. 이러한 대사 산물은 고용량에서 헤로울 수 있으므로 장기간 아스파탐 섭취가 위험 요소가 될 수 있다고 알려져 왔다[2].

이러한 대사 산물은 뇌의 신경 화학적 상태에 영향을 미치고 신경 전달 물질의 수준에 영향을 미칠 수 있다. 아스파르트산은 알라닌과 메탄올로 변환되고 포름알데히드를 통해 포름산으로 변환된다. 세로토닌, 노르에피네프린 및 도파민과 같은 신경 전달 물질은 기분, 인지, 학습, 운동 활동, 경계, 보상, 수면, 식욕 및 심혈관 조절에 중요한 역할을 한다. 아스파테이트는 신경전달물질로도 작용하는 생체 아미노산이다. 그것은 흥분성 아미노산으로 분류된다. 억제 아미노산과 균형을 이룰 때 정상적인 뇌 기능을 유지하는 데 필요한 이 균형을 방해하면 기분 장애가 발생한다. 페닐알라닌은 타이로신으로 대사되고 페닐에틸아민과 페닐피루베이트로 대사된다. 아미노산 페닐알라닌(Phy), 티로신(Try) 및 트립토판(Trp)은 NE, DA 및 5-HT의 합성을 결정한다[3].

이처럼 지금까지 aspartame에 대한 생명체의 영향을 고려한 연구는 대부분 동물에 초점을 맞추어 왔다. 그러나 식물의 물질대사에 대한 aspartame의 영향에 초점을 맞춘 이전 연구는 없었다. 그렇지만, Aspartame이 독성을 띠는 물질로 인식될 수 있어서, 일부 연구에서는 Aspartame을 식물에 주는 것이 식물의 성장과 생존에

부정적인 영향을 미칠 수 있다는 것을 보여 주었다. 예를 들어, 한 연구실에서는 Aspartame이 포함된 음료수를 식물에 주는 실험을 진행하였고, 아스파탐이 밀의 싹 성장에 미치는 영향을 조사하였다. 연구 결과, 아스파탐이 토양 미생물 집단 생태 구조에 영향을 준다는 것으로 나타났다. 또한, 아스파탐을 물에 녹인 후 밀 싹에 적용할 때 적정 농도에서는 밀의 성장에 영향을 미치지 않았지만, 과다한 농도에서는 밀의 성장을 방해할 수 있다는 것을 보였다. 이는 Aspartame이 독성을 띠는 물질로 식물에 인식될 수 있다는 것이라기보다는 음료수 안의 다른 성분이나 당으로 여겨지는 많은 양의 농도를 사용하였기에 생긴 일이었다.

식물의 성장을 촉진하기 위해서는 외부에서 첨가되는 당과 내부에서 생성되는 당 대사와 균형을 이루어야 한다. 그중에서 대부분의 고등 식물에서 자당은 체관부에서 장거리 수송과 탄수화물 저장에 사용되는 광합성 산물의 주요 형태이다. 장거리 운송 운반용으로 자당은 발달 중인 조직, 꽃가루 및 과일과 같은 "싱크" 조직에서 소비되거나 저장된다. 이러한 이유는 운반과정에서 자당의 대사 및 축적은 인버타제, 자당 합성효소(SS) 및 자당 인산 합성효소(SPS)를 포함한 다양한 효소에 의해서 제어할 수 있기 때문이다[4].

본 연구는 아미노산 성분을 갖은 아스파탐도 식물체에서 적정량을 첨가했을 때 식물이 활용할 가능성을 살펴보고자 한다. 식물의 당 대사와 인공 감미료의 문제점이 식물의 물질대사에서 응용 가능성을 확인하기 위해서 가장 기초적 흡수와 이동에 관계되는 과정에서 식물 성장에 어떠한 영향을 줄 수 있는지를 여러 당과 비교하면서 식물 성장과정에서 변화를 관찰하였다. 이 연구는 식물의 성장에서 아스파탐 효과에 관한 최초의 학술적 보고가 될 것이다.

## II. 재료 및 방법

### 1) 재료

양과를 준비하여 증류수에 담가 5일간 뿌리를 발아시킨 후에 1mM 아스파탐, 이눌린, 설탕 용액을 첨가하여 4주 동안 성장한 뿌리의 개수와 길이를 측정하였다(Figure 1). 식용으로 재배된 메주콩의 콩나물을 마트에서 구매하여 10개씩 실린더에 넣어 아스파탐 여러 농도(0, 1, 5, 10, 20mM)에 배양시켜서 성장을 관찰하였다. 실험에 사용한 *Kalanchoe pinnata*는 기내에서 무성생식으로 번식되어

온 실험재료이다. 포기나누기 방식으로 시험관에서 배양된 것은 사용되었기에 유전적으로 같다[ 5 ].

배지 제조에 쓰인 MS (Murashige & Skoog) medium은 국내기업으로 Duchefa Biochemie에서 구매하였다. 지지체로는 Bacto Agar를 사용하였다. 여기에 대경식품(주식회사)에서 식품첨가물로 시판하는 aspartame 1kg 포장용으로 사들여 농도를 조절하여 사용하였다. 식물조직 배양에 쓰인 배지는 1L의 비이커에 분말 MS 배지 4.48 g/L 과 sucrose 30g/L를 넣고 증류수에 용해하여 1L로 만들었다. 250ml 씩 4개로 분주 후에 aspartame를 첨가하였다. 이때 aspartame 농도는 0, 1, 5mM로 조합하여 첨가한 뒤, autoclave (121℃, 20분)를 하였다[ 5 ].

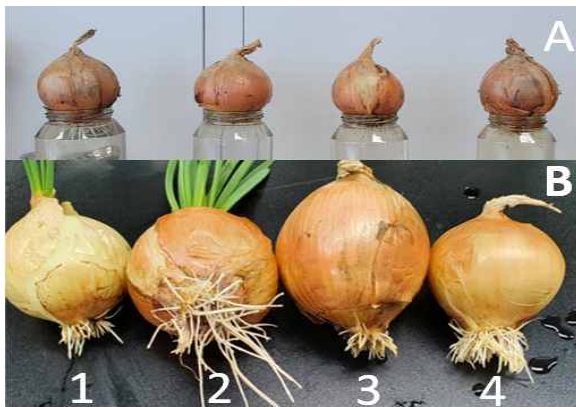


그림 1. 3 종류의 당을 처리 하여 처리 전(A)과 처리 2주 후(B, 2 배 확대)를 비교하였다. 아스파탐 처리 후 성장 속도가 빠르다. 1=water, 2=aspartame, 3=sucrose, 4=inulin

Figure 1. Three types of sugar were treated and compared before(A) and after (B, x2) 2 weeks of treatment. After aspartame treatment, the growth rate is fast. 1=water, 2=aspartame, 3=sucrose, 4=inulin

## 2) 배양 조건과 방법

기내 배양 상태는 온도를 유지하기 위해서 incubator에서 성장시키며, 15~20℃의 온도에 24시간 중 12시간을 빛 처리를 하였다. 암 처리로 12시간을 설정하였다. 일정한 조도를 유지하기 위해서 1,010 lm의 광도를 지닌 기내 배양용 Plant Growth 램프를 사용하여 빛을 제공했다. 접종 후 성장시킬 때 스트레스를 경감시키기 위해서. 습도는 50~80%로 유지하였다. 양파와 콩나물을 실내에서 위와 같은 조도의 조도와 온도 상태에서 배양하였다[5].

## III. 결과 및 고찰

### 1) 양파의 뿌리 성장에 아스파탐 효과

식물의 성장을 촉진하기 위해서 외부에서 탄소원으로 설탕을 첨가하거나 비타민 미네랄 아미노산 등의 영양소를 첨가한다[ 6 ]. 본 연구에서 식물이 운반용 탄소원인 자당과 양파에 들어 있는 이눌린 그리고 인공 감미료 아스파탐을 첨가하여 성장 실험을 시도하였다(Figure 1A ). 3종류 당을 뿌리에 용액 상태로 1mM 소량을 첨가하였는데 초기 성장에 가장 효과적인 것은 아스파탐이었다. 재생되는 뿌리의 숫자도 증가하였고 뿌리 길이는 가장 빨리 자라서 성장 효과를 나타내었다(Figure 1B, 2 ). 이눌린과 자당도 효과적이었다. 3주 후에는 자당과 아스파탐 첨가가 서로 성장 결과가 유사하였다. 양파는 소스(source, 잎) 조직에서 광합성 산물인 자당을 뿌리로 이동하여 싱크 세포로 저장하기에 외부에서 공급하는 탄소원으로 자당과 이눌린을 첨가하는 것은 해당 작용의 탄소원 물질 공급으로 성장이 도움을 주는 결과로 보인다. 아스파탐을 첨가하는 것은 당을 첨가하는 탄소원으로 사용되는 물질의 효과로 볼 수 없다. 구성 성분이 아스파테이트 와 페닐알라닌로 구성되어서 외부에서 공급되는 아미노산으로 볼 수 있다.

Effect of 3 Types of Sugar for 3 Weeks

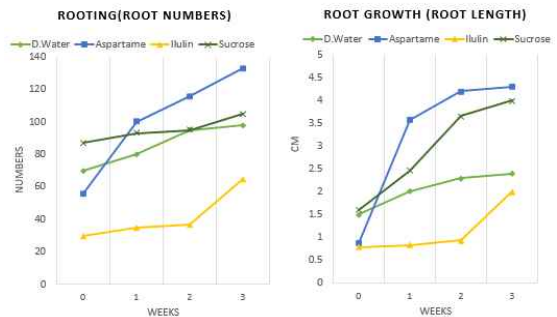


그림 2. 3 종류 당을 3주 처리한 후 뿌리의 성장 효과를 비교하였다. 왼쪽 사진은 3종류 당에 따른 뿌리 발생 숫자이고 오른쪽 사진은 3종류 당에 따른 뿌리 길이(cm) 성장 효과이다.

Figure 2. It is a comparison of root growth effect after 3 weeks of treatment with 3 types of sugar. The picture on the left is the number of rooting according to the three types of sugar, and the picture on the right is the root length growth(cm) according to the three types of sugar.

아스파테이트는 같은 계열의 아미노산(필수 아미노산), Arg, Glu, Asn, 방향족 아미노산(Tyr 및 Phe), 뉴클레오티드, 단백질, TCA 회로를 포함한 많은 대사 산물의 생합성을 위한 중요한 대사 허브 역할을 한다. 해당 경로 중간체, 호르몬 접합체로 식물의 성장과 발달에 반응하는 데 필수적이다 [ 7].아스파탐 처리에서 아스파테이트의 효과로 이와 같은 성장 효과가 나타날 수 있다고 생각한다. 아스타탐을 첨가한 양파에서 특이하게 2주 후에 양파 근단 부분이 화살촉처럼 보인다. 근단의 끝부분은 날카롭고 그 윗부분에서 5 mm 상부 위에 표피 조직 부위가 부풀어 올랐다. 그리고 시간이 지나면서 성장하면서 사라진다. 이런 현상은 빨리 분열되며 성장하는 조직에서 나타나는 현상으로 사료된다 (Figure 3A ). 아스파탐 첨가 4주 후에는 다량의 돌기가 발생한다. 돌출된 형태가 뿌리 아랫부분부터 윗부분까지 지름이 2 mm 크기로 발생한다. 일반적으로 식물 뿌리는 모용이나 측근이 발생하는데 이런 돌기 모양은 모용 보다는 크고 측근보다는 작으며 길이 성장이 멈춘 상태에서 발생한다. 그 조직 부위가 딱딱하여져 있다 (Figure 3B, 4).

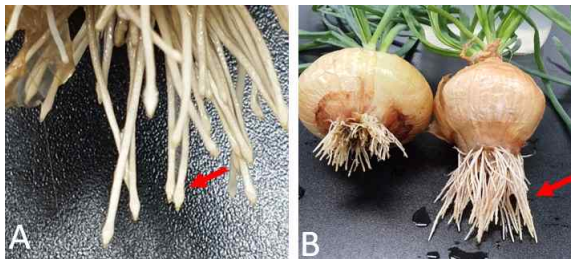


그림 3. 아스파탐 처리 2주 후(A)와 4주 후(B) 뿌리의 모양 비교이다. 처리 2주 후에 뿌리 근단에는 화살촉(화살표)모양으로 성장한다. 처리 4주 후 물에 자란 대조구(왼쪽)은 짧고,아스파탐에서 자란 식물은 길고 돌기가 발달한다 (오른쪽, 화살표).

Figure 3. Comparison of root shapes after 2 weeks (A) and 4 weeks (B) of aspartame treatment. After 2 weeks of treatment, the root tip grows in the shape of an arrowhead. After 4 weeks of treatment, the control (left) grown in water is short, and the plant grown in aspartame is long and develops projections(right, arrow).

아스파탐 성분 중에 하나인 페닐 알라딘은 단백질 합성 성분으로 사용되지만 식물 번식, 성장, 발달 및 다양한 유형의 스트레스에 대한 방어에 중요한 수많은 식물 화합물의 전구체로도 사용된다. 페닐 알라딘의 대사는 광합

성에서 페닐프로파노이드의 생합성으로 탄소 공급 경로에서 중심적인 역할을 한다. 이 경로에 관한 연구는 탄소를 페닐 알라딘 유래 화합물, 특히 목재의 중요한 구성 성분인 리그닌의 생합성으로 전환하는 과정과 관련이 있다고 알려져 왔다[ 8]. 아스파탐을 처리한 양파에서도 리그닌 합성 전구물질을 첨가해서 발생이 정점에 이른 뿌리 조직이 리그닌을 합성되는 현상이 페닐알라닌 성분으로 인하여 목질화되는 것으로 사료된다.

질산염 처리는 옥신 신호를 조절하여 발생하는 측근 개시에 긍정적인 영향을 주는데, 보다 구체적으로, 질산염은 pericycle 영역에서 옥신 수용체 AUXIN SIGNALING F-BOX3 ( AFB3 )의 발현을 유도한다[ 9]. 아미노산 공급은 질소 성분의 공급으로 영양분 제공 효과를 나타내며 특별히 질소는 측근 형성을 일으키는 유전자 발현을 촉진해서 오옥신 발생과 동시에 측근 형성을 촉진한다는 보고가 있다[ 10]. 이런 사실을 종합할 때 아스파탐을 뿌리에 처리하면 뿌리의 성장에 도움을 주고 측근 발생과 성장에 도움을 주지만 목질화가 되어 가는 것까지 영향을 줄 수 있어서 식물의 성장뿐만 아니라 노화를 촉진하는 효과를 줄 수 있다고 사료 되어진다( Figure 4 ).



그림 4. 그림 3번 사진에서 뿌리 부분을 10배 확대한 것으로 돌기형 측근 (화살표)이 발달함

Figure 4. In the Figure 3, the root part was magnified 10 times, and the projection-shaped lateral roots (arrow) were developed.

## 2) 콩나물에 처리한 아스파탐의 효과.

콩이 발아된 콩나물을 구매하여 아스파탐의 농도 영향을 관찰하기 위해서 수경재배를 4주 동안 진행하였다. 빛 아래서 초록색으로 광합성 가능한 잎이 발생하면서 성장하는데 농도별 특이점이 나타났다. 처음에는 성장 속도가



양파처럼 급성장 효과가 유사했지만 1 mM에서 최대 성장을 하고 고농도에서는 노화현상이 급속도로 진행하여 시들어 갔다 (Figure 5). 4주 후에는 물만 첨가하여 수경 재배한 콩나물보다 아스파탐 첨가한 모든 개체는 시들었고 아스파탐 농도가 높을수록 급속히 노화되어갔다. 콩나물도 초기에는 양파와 유사하게 성장하였지만, 페닐알라닌의 영향으로 목질화 되며 노화가 진행되는 것으로 사료된다 [ 8 ].

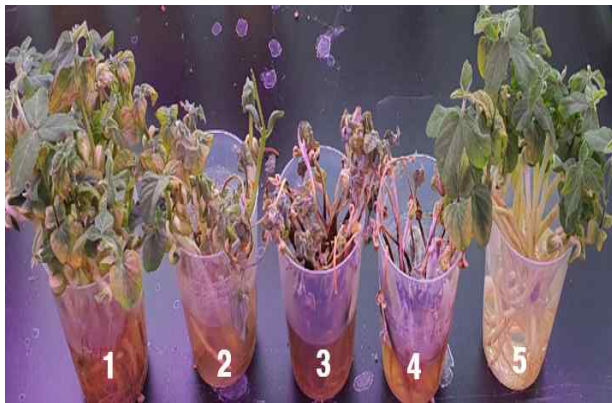


그림 5. 콩나물에 여러 농도의 아스파탐을 4주 동안 처리한 후 성장을 비교하였다.

Figure 5. Comparison of growth after treating bean sprouts with different concentrations of aspartame for 4 weeks. 1 = 1mM, 2 = 5mM, 3 = 10mM, 4 = 20mM, 5 = water.

### 3) 칼라코에에 처리한 아스파탐의 효과.

장기간 소량의 아스파탐을 처리하여 그 영향을 관찰하기 위해서 무성생식 하는 칼라코에를 사용하여 기내 배양하였다. 적은 양(1mM, 5mM)을 공급하면서 12주 동안 관찰한 칼라코에에는 입 가장자리에서 출아범으로 발생 되는 [ 11 ] 무성생식 범을 사용하지 않고 대신에 대부분의 개체가 포기나누기 방법으로 뿌리에서 무성생식을 통하여 통일체를 생성하였다 [ 5 ]. 빠른 방법으로 성장을 하면서 개체를 생성했지만 빨리 노화되어 뿌리가 죽어가고 배지가 갈 변화되는 것이 아스파탐 처리된 모든 실험체에서 발견된다(Figure 6). 이것은 무성생식 하는 유전적 동일 집단 내에 아스파탐이 칼라 초의 성장을 촉진하는 것과 동시에 뿌리를 빠른 속도로 노화시키는 현상이 나타난다. 이것도 콩나물과 양파 뿌리에서처럼 같게 아스파탐의 성분인 페닐알라닌이 뿌리의 목질화를 가속하면서 일어나는 노화현상이 급속히 진행되는 결과로

사료 된다 [ 8 ].

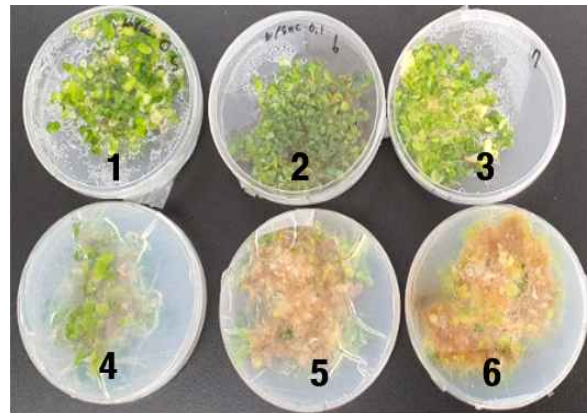


그림 6. 칼라코에를 여러 농도의 아스파탐을 사용하여 12주 동안 처리 후 성장을 비교하였다. 1번 plate는 aspartame 0 mM, 2번 plate 에는 1 mM, 3번 plate 은 5 mM을 처리 한 것이다. 4, 5, 6번 plate 은 1, 2, 3 plate 뒷면을 촬영한 것이다.  
 Figure 6. Comparison of growth after treating *Karanchoe pinnata* with different concentrations of aspartame for 12 weeks. Plate No. 1 was treated with 0 mM aspartame, plate No. 2 was treated with 1 mM, and plate No. 3 was treated with 5 mM. Plates 4, 5, and 6 were taken from the back side of plates 1, 2, and 3.

## IV. 결 론

이스파탐을 처리하면 물질대사 촉진 현상이 모든 식물에서 나타난다 (Figure 2). 양파의 경우 4주 후에 물에 있던 대조구와는 다르게 무게가 감소하였고 조직이 부드러워져 물리지는 형태로 변화된 것을 볼 수 있다(Figure 3B). 콩나물도 초기에는 빠른 성장과 더불어 물에서만 성장한 것과 아주 반대되게 시들어 말라 버렸다(Figure 4). 칼라코에의 경우에는 12주 동안 성장은 계속되었지만, 뿌리부터 노화되는 결과가 나타났(Figure 6). 이것은 아스파탐의 성분인 아스파테이트와 페닐알라닌이 3종류의 식물의 물질대사에 큰 영향을 주었을 것으로 사료 된다 [ 7, 8, 9 ]. 결론적으로, 아스파탐은 식물의 초기 성장을 촉진하지만 급속한 물질대사의 결과로 노화를 야기한다고 볼 수 있다고 제안한다.

## References

- [1] K. Czarnańska, A. Pilarz, A. Rogut, P. Maj, J. Szymańska, Ł. Olejnik and P. Szymański, Aspartame—True or False? Narrative Review of Safety Analysis of General Use in Products. *Nutrients* 13, 1957.2021
- [2] S. Y. Ahmad, J. K. Friel and D. S. Mackay Effect of sucralose and aspartame on glucose metabolism and gut hormones. *Nutr Rev.* 1;78(9):725–746. 2020 Sep doi: 10.1093/nutrit/nuz099. PMID: 32065635.
- [3] A. K. Choudhary and Y. Y. Lee Neurophysiological symptoms and aspartame: What is the connection? *Nutr Neurosci.* 21(5):306–316.2018 Jun doi: 10.1080/1028415X.2017.1288340. Epub 2017 Feb 15. PMID: 28198207.
- [4] O. O. Aluko, C. Li, Q. Wang and H. Liu, Sucrose Utilization for Improved Crop Yields: A Review Article. *Int. J. Mol. Sci.* 22, 4704. 2021 <https://doi.org/10.3390/ijms22094704>
- [5] J. Park, J. S. Kim and D. Kim The change of somatic cell embryogenesis in *Kalanchoe pinnata* because of agar concentration in stimulating root stress. *J Plant Biotechnol* 44:320–324, 2017.
- [6] D. Kim Hormonal Study to Induce Direct Organ Differentiation of *Kalanchoe pinnata* by Tissue Culture. *The Journal of the Convergence on Culture Technology*, Vol.7(4), pp.721–726, 2021
- [7] M. Han, C. Zhang, P. Suglo, S. Sun, M. Wang and T. Su L-Aspartate: An Essential Metabolite for Plant Growth and Stress Acclimation. *Molecules* 26, 1887. 2021, <https://doi.org/10.3390/molecules26071887>
- [8] M. B. Pascual, J. El-Azaz, F. N. de la Torre, R. A. Cañas, C. Avila and F. M. Cánovas Biosynthesis and Metabolic Fate of Phenylalanine in Conifers. *Front. Plant Sci.* 7:1030. 2016 doi: 10.3389/fpls.2016.01030
- [9] E. A. Vidal, V. Araus, C. Lu, G. Parry, P. J. Green, G. M. Coruzzi and R. A. Gutierrez Nitrate-responsive miR393/AFB3 regulatory module controls root system architecture in *Arabidopsis thaliana*. *Proc Natl Acad Sci USA* 107: 4477 - 4482. 2010
- [10] P. M. Péliissier, H. Motte and T. Beeckman Lateral root formation and nutrients: nitrogen in the spotlight. *Plant Physiol.* 187(3):1104–1116. 2021 Nov doi: 10.1093/plphys/kiab145. PMID: 33768243; PMCID: PMC8566224.
- [11] H. M. P. Garces, E. M. Connie, B. Champagne, T. Townsley, S. Park, R. Malho, M. C. Pedroso, J. J. Harada and N. R. Sinha Evolution of asexual reproduction in leaves of the genus *Kalanchoe*. *PNAS.* 104: 15578–15583, 2007.