

제초제는 잡초를 어떻게 죽이나?(Ⅳ)

‘생물체’ 성장·생식 위해 세포분열, 살균·제초제 등은 체세포 분열 저해
뿌리·줄기생장점의 분열조직서 체세포 분열 일어나, 12-17시간 정도 소요

4. 세포분열에 관여하는 제초작용

4.1 세포분열의 개요

생물체는 세포로 구성되어 있고 성장과 생식을 위해 세포 분열을 하며, 세포 분열은 ‘어미 세포’가 두 개의 ‘딸세포’로 나누어지는 과정을 말한다. 세포분열은 분열시 유전자 수의 변화에 따라 체세포 분열(mitosis)과 감수 분열(meiosis)로 구분되며 살균제, 제초제 등은 체세포 분열을 저해한다.

체세포 분열(mitosis)은 세포 분열을 하기 전에 유전물질, 단백질 등을 두 배로 합성한 후에 분열하기 때문에 분열 후에도 크기, 형태, 염색체 수, 유전물질을 일정하게 유지한다. 감수 분열(meiosis)은 생식세포를 만들기 위한 과정으로서 염색체 수가 반으로 줄어든다. 보통 연속적으로 2회의 세포분열이 이루어진다. 제1분열에서는 염색체 수가 반으로 줄어들고, 제2분열에서는 체세포 분열과 같이 염색체 수가 변하지 않는다. 세포 분열을 끝낸 딸세포가 다시 분열을 마칠 때 까지를 ‘세포주기(cell cycle)’라



김정한
서울대 농생명과학대학 교수

고 한다.

체세포 분열은 뿌리나 줄기생장점의 분열조직에서 일어나며 소요되는 시간은 다소 다르나 12-17시간 정도이다. 세포주기는 크게 간기(interphase)와 유사분열기(M: mitotic phase)로 나눈다. 간기는 세포 주기의 대부분을 차지하며 G1기(gap1;

DNA 복제 준비기; 3~5시간 소요), S기(synthesis: DNA 복제기; 4~9시간 소요), G2기(gap2: 세포 분열 준비기, 분열 전 성장기; 1~4시간 소요)의 3단계로 나눈다.

분열기(M)는 핵분열단계로서 1~2시간 소요되면 4 단계로 이루어지는데, 전기[prophase :핵막, 인이 사라지고, 방추사(spindle)가 나타남, 염색체가 두 개의 염색분체로 됨], 중기(metaphase : 염색체가 세포 중앙의 적도면에 배열되고, 방추사는 염색체에 부착), 후기(anaphase : 염색분체가 완전히 분열하고 방추사에 의해 양극으로 이동), 말기(telophase :분리된 염색

체가 염색사로 풀리고 새로운 핵막과 인이 생성 되고 방추사는 분해됨)의 단계(그림 1)를 거치고 난 다음 세포질 분열(cytokinesis)이 일어나 완전히 두 개의 세포로 된다. 식물의 세포질 분열은 적도면에 세포판이 형성되어 두 개로 분리되고 동물 의 경우는 세포질이 중앙으로 함몰되어 두 개로 분리 된다.

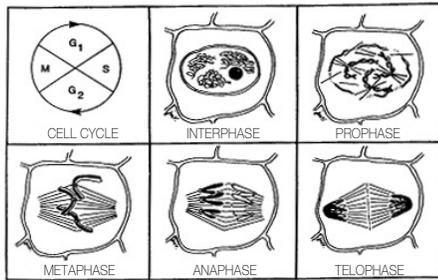


그림 1. 세포주기

(참조: Target sites of herbicide action)

4.2 세포 분열을 저해하는 제초제

세포분열(mitosis) 시 염색체 이동에 필요한 방추사(spindle)는 여러 개의 미소관(microtubule)으로 이루어 졌는데, 이 미소관은 직경이 보통 22-25nm정도이며 길고 속이 빈 원통 형태를 하고 있다. 구상 단백질로서 보조 단위인 α -tublin과 β -tublin이 결합하여 α, β -tublin dimer(α, β -protomer)로 되고 이것 들이 중합되어 미소관을 생성 하는데, 이와 같은 중합반응은 MTOC(microtubule-organizing center)에서 개시 되고 미소관은 세포분열시 자라서 방추사를 형성한다(그림 2).

Dinitroaniline계(trifluralin, oryzalin, pendimethalin 등), phosphoramidate계

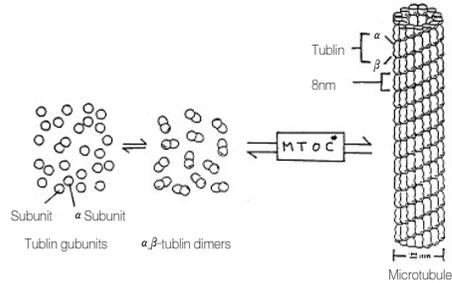


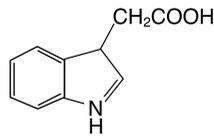
그림 2. α, β -Tublin dimer 및 미소관의 형성

(butamiphos, amiprofos-methyl), pyridine계 (dithiopyr, thiazopyr), benzamide계(propyzamide, pronamide 등), benzoic acid계(DCPA) 제초제는 세포 분열 저해 살균제(칼럼11)와 마찬가지로 α -tublin과 β -tublin이 결합하여 α, β -tublin dimer로의 전환을 저해하여, 미소관이 생성되지 못하고 세포분열시 방추사 형성이 저지되고 딸 염색체의 분열이 저해되는 것이다.

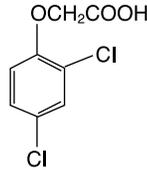
한편, carbamate계 제초제인 propham, chloropham, carbetamide 등은 dinitroaniline계 제초제와는 달리 α, β -tublin dimer를 중합시키는 역할을 하는 MTOC를 저해하여 세포 분열을 저해하며, 또한 2개 이상의 핵분열(multipolar mitosis)이 발생하여 비정상적 숫자의 염색체를 가진 세포나 다핵 세포 등이 생성되어 살초작용을 한다.

5. 식물호르몬 작용에 관여하는 제초작용 및 제초제

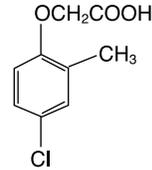
식물의 많은 생리현상은 식물호르몬(hormone)에 의해 제어된다. 그 중 제초제와 관련되어 중요한 화합물이 옥신(auxin: indole-3-acetic acid(IAA))으로서 세포의



Indole-3-acetic acid (IAA)



2,4-D



MCPA

신장이나 분화를 촉진하는 작용이 있으며 식물의 굴광성, 굴지성에 관계하고, 잎의 노화, 낙엽, 개화, 착과, 과실 성숙 등의 생리적 면에서 큰 영향을 미친다. 옥신은 아미노산인 트립토판(tryptophan)에서 생합성되며 식물체 전체에 분포하고 있고 어린 조직이나 왕성하게 성장하는 조직에 비교적 고농도로 존재한다.

이와 같은 옥신은 식물 체내에서 매우 낮은 농도(식물체 1kg당 1~100 μ g 수준)로 유지되는데, 옥신을 원형으로 하여 만들어진 옥신형 제초제의 처리는 결국 주로 옥신 효과의 과다에 의한 제초작용을 한다.

옥신형 제초제 중에서 phenoxycarboxylic acid계(2,4-D, 2,4-DB, 2,4-DP, MCPA, MCPB, MCPP, clomeprop), benzoic acid계(chloramben, dicamba, TBA), pyridine carboxylic acid계(clopyralid, picloram, fluroxypyr, triclopyr), quinoline carboxylic acid계(quinclorac, quinmerac), 기타(benazolin-ethyl) 제초제들은 옥신과 유사한 작용을 하는 반면에 phthalamate계(naptalam), semicarbazone계(diflufenopyr-Na)와 같은 제초제는 옥신의 흐름을 차단하는 것으로 알려져 있다.

이러한 작용이 발생하면 식물이 갖는 정상

적인 옥신에 의한 생리작용이 교란되어 핵산의 합성의 이상이나 각종의 효소활성이 무차별한 상승을 일으켜 세포나 조직이 정상인 활동, 성장을 저해하여 살초작용을 한다. 하지만 이와 같이 옥신이 갖는 작용과 옥신형 제초제의 효과는 오랜 세월에 걸쳐 많은 연구가 진행 되었음에도 불구하고 아직 충분히 해명되어 있지 않다.

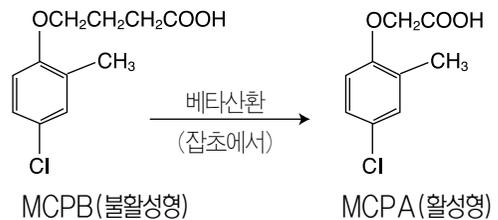


그림 3. β -산화 작용에 의한 MCPB의 활성화
(참조: 제초제와 식물 생리)

흥미로운 것은 옥신형 제초제 중 2,4-DB 및 MCPB는 그 자체로 살초작용을 하는 것이 아니라 식물 체내에서 각각 2,4-D 및 MCPA로 전환되어서 효과를 발현하는데, 이때 일어나는 반응을 β -산화(β -oxidation)이라고 하며 탄소가 2개씩 제거되는 반응으로서 β -oxidase 효소가 촉매한다(그림 3). 이 반응은 광엽잡초에서 일어나기 때문에 이들 잡초에 대한 선택성을 얻을 수 있다. Y