

제초제는 잡초를 어떻게 죽이나? (Ⅲ)

‘동물’ histidine · leucine 등 영양소 합성 불가, 식물 · 미생물만 아미노산 생합성
제초제 amitrole, 카로티노이드 · 히스티딘 생합성 저해제로 알려져

3.4 아미노산 생합성에 관여하는 제초작용

3.4.1 아미노산 생합성 개요

동물의 경우에는 필수아미노산으로 불리며 매우 중요한 영양소인 histidine, leucine, valine, isoleucine, lysine, methionine, threonine, tryptophan, phenylalanine 등을 합성할 수 없다. 식물과 미생물만이 모든 아미노산을 생합성할 수 있다. 식물에서 모든 아미노산에 필요한 질소는 엽록체의 stroma에서 glutamate로부터 유래 된다(그림 1). Arginine과 proline이 glutamate로부터 생성되고, glutamate에서 유래한 aspartate는 cysteine, methionine, threonine, lysine과 분지아미노산인 valine, leucine, 및 isoleucine의 시작이 된다. 이때 pyruvate는 분지아미노산과 alanine 합성에 중요한 역할을 한다.



김정한
서울대 농생명과학대학 교수

한편 cysteine은 serine을 거쳐 glycine으로 전환되고 이 전환 과정(광합성탄소산화작용)은 광합성탄소 환원 작용과 연결되어 E4P(erythrose-4-phosphate)가 생성되고 이것은 tryptophan, tyrosine, phenylalanine 등의 방향족아미노산을 생성한다. 이와 비슷하게 R5P(ribose-5-phosphate)로부터 histidine이 생성된다(RuBP; ribulose-1,4-bisphosphate, PGA; phosphoglycerate, PEP; phosphoenolpyruvate).

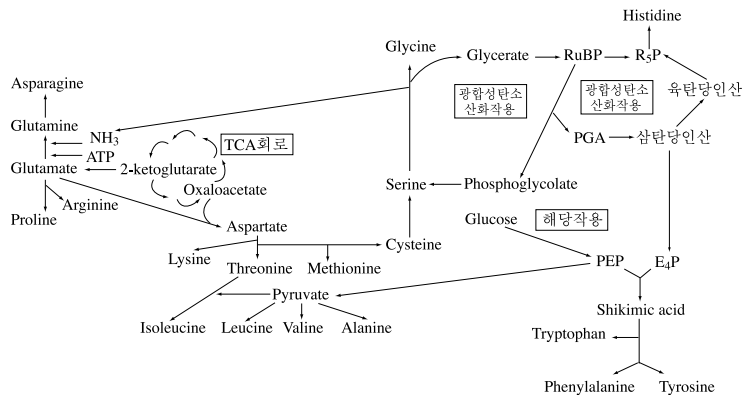


그림 1. 아미노산 생합성 요약 지도

(참조: Physiology of Herbicide Action, 식물분자생리학, 제초제와 식물생리)

3.4.2 글루타민(Glutamine) 생합성을 저해하는 제초제

Glutamine은 glutamine synthetase (GS)에 의해 생성되는데, 이 효소는 광호흡에서 생성되는 암모니아(NH₃)와 ATP 존재 하에 glutamate를 glutamine으로 전환시키는 일을 한다. 한편 glutamate synthase는 TCA 회로에서 유래한 2-Ketoglutarate와 glutamine을 이용하여 glutamate를 생합성하고 이것은 다양한 아미노산의 기원이 된다(그림 2).

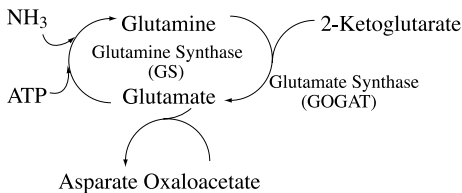
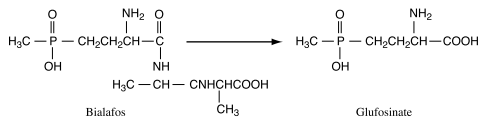


그림 2. 글루타민과 글루탐산 생합성 경로

Phosphinic acid 계(Glutosinate, bialaphos, bilanafos)제초제는 GS를 저해한다. 따라서 NH₃가 축적되며 광합성이 정지되고 엽록체의 파괴나 stroma의 공포(空胞)화가 일어나며 glutamate의 생성이 차단되고 이어서 여러 가지 아미노산의 합성이 저해된다. Bialafos는 식물의 체내에서 glufosinate에 대사된 후 효력을 보인다.



3.4.3 방향족아미노산(Aromatic amino acid) 생합성을 저해하는 제초제

식물의 방향족 아미노산은 시킴산경로(shikimate pathway)에 의해 생성된다. 식

물에 의해 고정된 탄소의 20% 정도가 이 경로를 거치게 되는데 식물세포의 세포질과 색소체에서 일어나며 세균과 균류에서도 일어나나 동물에는 존재하지 않는다.

간단하게 살펴보면 광합성 과정에서 생성된 erythrose-4-phosphate(E4P)와 해당 과정에서 생성된 phosphoenolpyruvate(PEP)로 부터 출발하여 shikimic acid 및 5-enolpyruvyl skimate 3-phosphate(EPSP)를 거쳐 chorismate를 합성, 여기서 2가지로 갈려져 tryptophan, tyrosine, phenylalanine 등이 생성된다. 이 방향족아미노산으로부터 비타민, 알칼로이드, 플라보노이드, 리그닌 등 수많은 중요한 물질들이 만들어진다(그림 3).

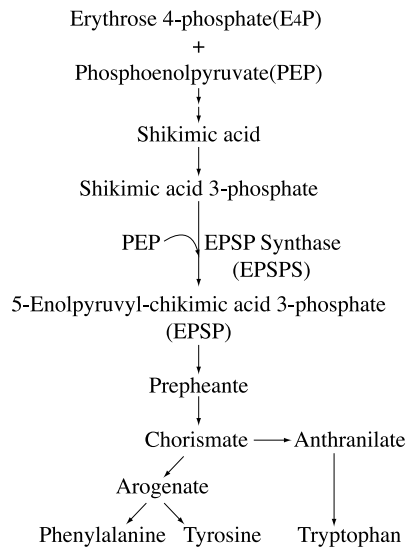


그림 3. 방향족아미노산의 생합성 경로

Glycine계(Glyphosate, sulfosate)제초제는 이 경로 중에 shikimic acid-3-phosphate를 EPSP로 전환시키는 효소인

EPSP synthase(EPSPS)에 대한 저해제라고 알려져 있다. PEP과 결합하여 효소 역할을 저해하여 phenylalanine, tyrosine, tryptophan이 결합되어 제초효과를 보인다.

3.4.4 분지아미노산(Branched chain amino acid) 생합성을 저해하는 제초제

식물의 필수 아미노산인 valine, leucine, 및 isoleucine 등은 지방족 측쇄를 갖는 아미노산으로 분지(分枝)아미노산이라고 한다. 이들 아미노산의 생합성은 엽록체의 stroma에서 threonine과 pyruvate로부터 시작되는 일련의 반응으로부터 생성된다(그림 4). 이들 분지아미노산의 생합성에 관여하는 효소인 ALS [acetolactate synthase; 또는 acetohydroxyacid synthase(AHAS)]는 EPSPS와 마찬가지로 엽록체에 존재하고 분지아미노산 생합성 반응의 초기 반응을 촉매하는데, 이 후 다양한 이성화과정, 탈수과정과 아미노기전달과정을 거쳐 valine 및 isoleucine이 생성된다. 한편으로는 2-oxoisovalerate가 2-isopropylmalate로 전화되고 역시 이성화, 환원, 아미노기전달과정을 거쳐 leucine이 생성된다.

Sulfonylurea계 (azimsulfuron, chlorsulfuron, sulfometuron-methyl 등),imidazolinone계(imazapyr, imazaquin, imazethapyr 등), triazolopyrimidine계 (diclosulam, florasulam, flumetsulam, metosulam 등), pyrimidinyl(thio)benzoate계 (bispyribac-Na, pyribenzoxim, pyriftalid, pyriothiobac-Na, pyriminobac-

methyl 등), sulfonylaminocarbonyl-triazolinone계 (flucarbazone-Na, propoxycarbazon-Na 등) 제초제는 식물의 잎 및 뿌리로부터 흡수되어 식물 분열조직으로 이동하여 축적되며 ALS의 활성을 저해함으로써 세포분열과 식물의 생육을 억제, 살초 활성을 발휘하여 잡초를 방제한다.

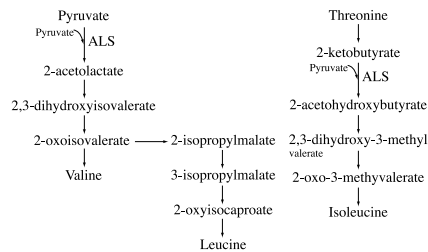


그림 4. 분지아미노산의 생합성 경로

3.4.5 히스티딘(Histidine) 생합성을 저해하는 제초제

제초제 amitrole이 일차적으로 카로티노이드생합성 저해제로 알려져 있지만 또 한편으로는 히스티딘 생합성도 저해하는 것으로 알려져 있다. 고등식물에서 히스티딘 생합성 효소에 대해 별로 알려진 바가 없다.

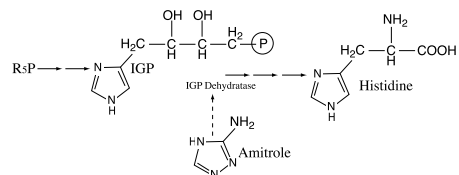


그림 5. 히스티딘의 생합성 경로 및 amitrole의 작용점

히스티딘은 R5P(ribose-5-phosphate)에서 시작하여 IGP(imidazole glycerol phosphate)로 변환된 후 IGP dehydratase에 의해 탈수작용을 거치고 아미노기 전달과정 등 여러 과정을 통해 합성되는데(그림 5), amitrole은 IGP dehydratase에 대해 IGP와 경쟁적으로 저해하는 것으로 알려져 있다. Y