

飯田 格・上遠 章・佐藤六郎・山崎輝男 編

現代農薬講座

V. 除 草 剤
■ 植物生長調整剤

朝 倉 書 店

飯田 格・上遠 章・佐藤六郎・山崎 規

現代農薬講座

V. 除 草 剤
■ 植物生長調整剤

朝 倉 書 店

現代農業講座 V

定価 1600 円

昭和 46 年 12 月 10 日 初版発行

編集者承認
検印省略

編集者 飯田 格・上遠 章
佐藤六郎・山崎輝男

発行者 朝 倉 鑑 造
東京都新宿区新小川町 2 の 10

印刷者 川 瀬 王 子
東京都北区東田端 1 の 8 の 10

発 行 所

株式 朝 倉 書 店
会社
東京都新宿区新小川町 2 の 10
郵便番号 1 6 2
電話 東京 (260) 0 1 4 1 (代)
振替口座 東京 8 6 7 3 番
自然科学書協会 会 員

© 1971

鎌倉印刷・渡辺製本

無断複写・転載を禁ず

3361-861605-0032

第Ⅴ巻執筆者

かわ	むら	えい	こ	ろう	
川	村	英	五	郎	農林省北海道農業試験場作物第2部長
しま	だ		ゆたか		
嶋	田		饒		農林省草地試験場生態部長
しん	どう		のぼる		
進	藤		登		東京有機化学工業(株)研究所學術調査室長・工学博士
なか	がわ	ぎよう	じ	ろう	
中	川	恭	二	郎	岡山大学農業生物研究所助教授
なか	ざわ	あき	お		
中	沢	秋	雄		農林省九州農業試験場作物第2部長・農学博士
にし		さだ	お		
西		貞	夫		農林省園芸試験場そ菜部そ菜育種第1研究室長・農学博士
ひろ	せ	かず	よし		
広	瀬	和	栄		農林省園芸試験場興津支場果樹第2研究室長
まな	べ	たつ	お		
真	部	辰	夫		農林省林業試験場造林部除草剤研究室長
むら	かみ	ゆたか			
村	上	浩			農林省農業技術研究所生理遺伝部生理第4研究室長・理学博士
よし	ざわ	なが	と		
吉	沢	長	人		日本植物調節剤研究協会常務理事兼技術部長

(五十音順)

は し が き

病害虫の加害を受けない農作物はなく、とくに優良品種や多収品種といわれるものほど病害虫による害が大きい。したがって、農業生産に当たって、病害虫防除は欠くことのできない作業であり、農業は農薬と肥料がなければ成り立たない。

農作物の病害虫防除法には、化学的防除法（農薬）、物理的防除法、耕種的（生態的）防除法、生物的防除法などがあるが、現時点において最も多くかつ広く行なわれ、最も効果をあげているのは、農薬利用による化学的防除法である。

稲作についてみると、昭和 25～29 年の病害虫による減収率は平均 12.5% であったが、昭和 30 年以降は稲病害虫に特効のある農薬（水銀剤、パラチオン剤、BHC 剤など）の普及によって病虫害は 6 割以上も軽減され、その減収率は 4% 以下になった。この強力な農薬の出現と相まって耕種・施肥の改善が行なわれ、米は 3 割以上の増収をみ、最近では米生産過剰のための減反政策がとられるにいたったのである。

しかるに 1962 年、米国のレーチェル・カーソン女史はその著書“サイレント・スプリング”のなかで、現在の農薬をこのまま使用し続ければ自然は破壊され、野生の生物は死滅し、春が来ても鳥も鳴かない環境となり、そこでは人間の生存も危うくなるおそれがあると警告した。この警告は世界的な反響を呼び起こし、農薬による農産物の汚染、土壌汚染、水質汚染などの公害が大きな社会問題としてとりあげられるにいたり、農薬使用と農薬による公害をいかに調和させていくかが、農業界だけでなく社会全体に課せられた大きな問題となっている。

したがって、残留毒性の少ない農薬、誘引剤、忌避剤、不妊剤、生物農薬などの開発、ならびに収穫物に毒物の残留しないような農薬の合理的使用法、天敵保護、病害虫に抵抗性のある品種の栽植、農業生態系保持などを考慮して農薬を使

用する総合防除などの開発によって農薬公害を少なくするよう努力することは、農薬研究者、農業技術者に課せられた責務と考えられる。

この“現代農薬講座(全5巻)”は、社会問題となっている農薬について、現代の要請にこたえ、農薬公害を起こさないように農薬を活用するために必要な農薬の基礎知識とその利用面を、多くの専門家の分担執筆によって、わかりやすく解説したものである。

第Ⅰ巻は農薬の概説、農薬の生産・使用状況、農薬の効果と公害、作用機構、抵抗性、防除機具、最新法規、第Ⅱ巻は効力検定法、分析法、植物・人畜に対する農薬の害作用とその解毒法、第Ⅲ巻以降は各論として、第Ⅲ巻は殺虫剤、殺ダニ剤、殺線虫剤、誘引剤、不妊剤、生物農薬、殺そ剤、殺虫殺菌剤、第Ⅳ巻は殺菌剤、補助剤、第Ⅴ巻は除草剤、植物生長調整剤について現在市販されている農薬はすべて網羅したつもりである。

なお本講座の刊行に当たり執筆者各位に多大のご協力をいただいたことと、農林省農薬検査所長鈴木照磨博士が格段のご指導・ご協力を賜ったことに深く感謝するとともに、朝倉書店編集部のお骨折りにお礼申しあげる。

昭和46年8月

編 者 一 同

目 次

I 除草剤・植物生長調整剤の作用機構	(村 上 浩)	1
1. 除草剤の作用機構		1
選択殺草性の基礎		1
2. 殺草作用の生理生化学的機構		4
(1) フェノキシ系除草剤	4	
(2) フェノール系除草剤	6	
(3) 脂肪酸系除草剤	7	
(4) アミノトリアゾール	7	
(5) フェニル尿素系除草剤	8	
(6) カーバメート系除草剤	9	
(7) トリアジン系除草剤	9	
(8) アニタイド系除草剤	10	
(9) ジフェニル エーテル系除草剤	10	
(10) 塩素酸塩除草剤	11	
3. 植物生長調整剤の作用機構		11
(1) オーキシシン	11	
(2) ジベレリン	15	
(3) 植物生長抑制剤	16	
(4) 植物生長阻害剤	19	
(5) エチレン	20	
II 除草剤・植物生長調整剤の化学的解説	(進 藤 登)	23
(1) フェノール系化合物	24	
(2) ジフェニル エーテル系化合物	27	
(3) ベンゾニトリル系化合物	29	
(4) チオカルボニル化合物	31	
(5) 第4級 アンモニウム系化合物	31	
(6) フェノキシ系化合物	34	
(7) ベンゾイック酸および フェニル酢酸系化合物	40	
(10) チオールカーバメート, ジチオカーバメート 系化合物	43	
(11) ハロゲン化脂肪酸系化合物	40	
(12) カーバメート系化合物	41	
(13) 酸アמיד系化合物	45	
(14) トリアジン系化合物	51	
(15) 尿素系化合物	47	
(16) ダイアジン系化合物	49	
(17) 植物生長調整剤	59	
(18) その他の主要な除草剤	53	

Ⅲ 除草剤の使い方	(吉沢 長 人)...	64
(1) 除草剤の作用特性		64
(2) 除草剤と処理方法		67
Ⅳ 水 田 の 除 草	(中川恭二郎)...	77
(1) 水田の除草法の変遷		77
(2) 水田の雑草		80
(3) 除草剤による水田の除草		81
Ⅴ 畑 作 の 除 草	(中沢 秋 雄)...	109
(1) はしがき	109	
(2) 畑作除草の基本的問題		111
(3) 畑雑草防除技術		116
Ⅵ 野菜・果樹の除草		133
1. 野 菜	(西 貞 夫)...	133
(1) 野菜用除草剤の 試験と利用の現況		133
(2) 野菜用除草剤の使用例		143
(3) 野菜用除草剤の 今後と問題点		154
2. 果 樹	(川村英五郎)...	156
(1) 果樹園の土壌管理		156
(2) 刈り取りまたは 除草の必要性		157
(3) 刈り取りまたは 除草時期と回数		159
(4) 刈り取りまたは 除草に要する労力		160
(5) 刈り取りおよび除草へ の除草剤の利用		161
(6) 果樹用除草剤 としての条件		162
(7) 果樹用除草剤の 分類と種類		163
(8) 除草剤の使用体系		172
Ⅶ 林野・草地の除草		174
1. 林野の除草	(真 部 辰 夫)...	174
(1) わが国における 林業用除草剤の特徴		174
(2) 使用法		176
2. 草地の除草	(嶋 田 鏡)...	185
(1) 草地と雑草		185
(2) 草地の群落遷移と		

(3) 主要草地雑草と防除.....	194	雑草の動態.....	186
Ⅷ 植物生長調整剤の効果..... 119			
1. カンキツ	(広瀬和榮)...	119	
(1) 摘果剤.....	119	(2) 着果剤.....	202
(3) 催色剤.....	203	(4) 落葉・落果防止剤.....	204
(5) 浮皮防止剤.....	204	(6) 減酸剤.....	205
(7) 発芽抑制剤.....	205	(8) へた枯れ防止剤.....	206
(9) 収穫剤.....	206		
2. その他の果樹	(川村英五郎)...	206	
(1) リンゴ・モモ・		(2) ブドウ「デラウエア」	
カキの摘果(花).....	206	の種子なし化.....	208
(3) ブドウ「巨峰」の		(4) ブドウの摘粒簡易化.....	209
花振るい防止.....	208	(5) 果実の熟期促進.....	209
(6) ブドウ種子なし「デラウ		(7) リンゴの収穫前	
エア」の熟期遅延.....	210	(後季)落果の防止.....	210
(8) 生育抑制.....	211	(9) 葉摘み剤によるリンゴの	
		着色増進のための	
		葉摘み.....	212
3. 野菜・花き・タバコ.....	(西 貞夫)...	213	
(1) 野菜.....	214	(2) 花き.....	223
(3) タバコ.....	226	(4) その他.....	227
索引			229

I

除草剤・植物生長調整剤の作用機構

1. 除草剤の作用機構

除草剤の作用機構は、殺菌剤や殺虫剤などの農薬の作用機構と本質的に類似している。ただ作用する相手が高等植物である点に特異性がある。除草剤の実際に使用する場面においては、植物のおかれている環境、薬剤の濃度、使用法などの要因がからみ合って起こる複雑な機構によって、除草効果が発現するものと考えられている。

選択殺草性の基礎

まず、除草剤として最も重要な性質である選択殺草性の生ずる要因を考察してみる。

a. 葉の特徴 イネやムギのように、葉が細長く、垂直に立っている植物や、さらに、ネギのように、葉の表面がロウ状物質でおおわれている植物では、葉が水平に広がっている広葉の植物に比較して、スプレーされた薬剤が付着しにくい。しかし、このような葉の特徴によって生ずる除草剤の選択性は、展着剤の混用により消失する。

b. 生長点の位置 高等植物では、生長点は最も重要な組織である。イネ、ムギなどでは、生長点が葉の基部にあり、多くの葉で包まれている。時には、地中であって土壌によって保護されている。そのため、葉にスプレーされた薬剤が直接生長点にふれにくくなっている。広葉の植物では、茎の頂点や葉腋に生長点があるから、接触性の除草剤は直接に生長点の組織を殺すことができる。

c. **生育型** 多年生と一年生の植物を比較すると、多年生のものは、土中に深く張った根系をもっている。このようなものは、地上部が薬剤によって部分的に枯れてもまた回復する。たとえば、多年生のアルファルファへの葉害を最少限度にするためには、休眠期（冬の間）に接触性の除草剤を使用すればよいわけである。

d. **薬剤の吸収** 除草剤は、クチクラや気孔を通して植物に吸収される。この際、葉の表面のクチクラや気孔が問題になる。クチクラの厚さや性質は、植物の生育ステージや環境によってもちがう。日陰で育った植物の葉は、日光の下で育ったものよりも薄いクチクラをもっている。クチクラは、植物が除草剤を吸収する際の防壁の役割を果たしているから、薄いクチクラをもった植物は薬剤の吸収が多く枯死しやすい。

気孔についてみれば、植物によって数や分布状態がちがっている。多くの植物では、葉の表面および裏面にあるが、裏面だけの植物もある。一定面積当たりの気孔の数も種によって10倍もちがうし、気孔の大きさにも5倍の差がみられる。大きな気孔で、数の多いほど、除草剤の吸収が容易になり、枯死しやすくなる。

適当な展着剤は、気孔やクチクラを通しての薬剤の吸収を増加させる役割をもっている。

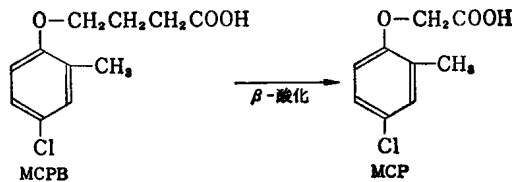
e. **薬剤の植物体内での移行** 除草剤が植物体内に吸収されてから、その効果を発揮するためには、作用点に移動する必要がある。根から地上部へ、地上部から根への移動速度や量は、植物の種類や環境によって異なってくる。たとえば、2,4-Dの移動の速度と量は、抵抗性のある種よりも感受性のある種で大きい。

f. **薬剤の土壌中の位置** 本質的には選択性のない除草剤が、土壌中に存在する場所で選択的に作用する場合がある。浅根の作物から深根の雑草を取り除くためには、深根の雑草の根の先端まで移動しやすい除草剤を使用すればよい。逆に、深根の作物から浅根の雑草を枯死させるには、土壌表面にとまっている除草剤を選ぶ必要がある。一般に砂質土は、除草剤が浸透しやすく、粘質土は浸透しにくい。

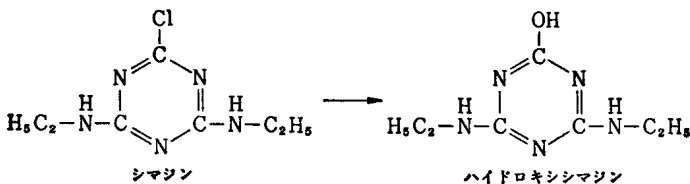
g. 生化学的機構 除草剤が植物のどの生化学反応を阻害するか，すなわち，最終作用点を，生化学的に明らかにすることが必要である．このような点からの研究結果については，あとで記すので，ここでは，一般的に，選択的殺草性の生化学的な説明について述べる．

i) 酵素作用への阻害の差： 植物の代謝過程のある段階に関与している酵素反応が，ある植物では除草剤によって阻害される．そのために，阻害をうける植物だけが薬剤の影響で枯死する．たとえば，ダウポンは植物の物質代謝のかなめになっているコエンチーム A (CoA) を構成するパントテン酸の生成を阻害する．ダウポンで枯死しやすい植物は，ダウポンによるパントテン酸合成の阻害を受けやすい．これも程度の問題でありきれいな例はないようである．

ii) 活性化の差による選択性： そのままでは無作用の除草剤を，活性型に変える能力の植物による差異が，選択的殺草の原因になっている．その例として MCPB がある．この化合物は，植物体内でベータ (β) 酸化を受けると，MCP が生成する．したがって，この β -酸化能をもつ雑草は枯れ，その能力の弱い作物，たとえば，クローバーなどは生きのこり，選択性が生ずる．



iii) 不活性化の差による選択性： 除草剤の無害な化合物への分解が，植物の種類によって差異のある場合には，選択性が生ずる．例としては，トウモロコシでは，体内にふくまれている 2,4-dihydroxy-7-methoxy-1,4-benzoxazine-3-one という物質によって，非酵素的にシマジンが分解され，体内に致死量のシマ



ジンの蓄積するのを阻害している。そのため、トウモロコシはこの化合物に抵抗性を示す。他の植物では、このような能力がないために枯れてしまう。

2. 殺草作用の生理生化学的機構

除草剤が、雑草の体内で進行している生理生化学反応のどこに作用しているか、すなわち、作用点を明らかにするための研究も数多く行なわれている。強力なオーキシシン作用をもっている 2,4-D のような除草剤については、植物体内の自己オーキシシンであるインドール酢酸との関連で作用機構を考えている。他の除草剤については、除草剤に化学構造の類似している生体内の物質に関係のある酵素系への阻害作用や、緑色植物に比較的特有な生化学反応、たとえば、光合成反応に対する作用が研究されている。

多くの除草剤のうちから、作用機構の研究された代表的な除草剤を選んであらましを説明する。

(1) フェノキシ系除草剤

2,4-D (2,4 PA) で代表されるものである。植物の生長に及ぼす影響は、体内の自己オーキシシンであるインドール酢酸とよく似ている。両者のちがいは、2,4-Dの方がより活性が強く、長期間分解せず残っていることである。

植物は常に、組織中のオーキシシンと他のホルモン、たとえば、ジベレリンやサイトカイニンなどとのバランスを変化させて、細胞分裂、発芽、発根などの生理現象をコントロールしている。いま、非常に分解しにくい合成オーキシシンが組織に入り、細胞に充満すると、いままでコントロールされていた生長・分化に必要な体内オーキシシンのレベルが無秩序になってしまい、正常な生長のパターンがまったく変わってしまう。分裂組織の細胞は分裂がとまり、伸長している細胞は、長さの生長がとまり、幅の生長を始める。一方、成熟した細胞は膨潤し、分裂を始め、カルス状の生長と根の原基を生ずる。根の伸長はとまり、若い葉は、異常な展開をし、クロロフィルの含量の低い萎縮した葉肉をつくる。植物の機能の面においても、根は、塩類や水を吸収する能力を失い、光合成は減少し、師部組織

は、養分を移行する働きがなくなり、ついに植物は枯死する。

2,4-D の作用によって生ずるホルモンバランスの乱れの結果は、また電子顕微鏡のレベルでも研究されている。2,4-D は若い型の細胞質から成熟型の細胞質になることを阻害するだけでなく、成熟型のものを若い型に逆行させるようにもみえる。それは、2,4-D の作用をうけた植物の電子顕微鏡像では、リボソームが非常に増加しているのが観察されるからである。

2,4-D によって起こる生理的变化と呼吸作用との関係も研究されている。ガス代謝を測定した結果では、2,4-D 処理により、酸素の吸収あるいは炭酸ガスの発生が増加するとの多くの報告がある。2,4-D 処理は、黄化エンドウの芽生えの呼吸を増加させ、処理、無処理とも呼吸率が1であるから、糖が呼吸基質になっている。糖がピルビン酸に分解される経路として、エムデン・マイヤーホフ (Embden-Meyerhof) 経路を通る場合と、ペントース回路を通る場合とがある (図1 参照)。前者は無酸素下で進行し、後者は酸化的分解である。 ^{14}C でラベル

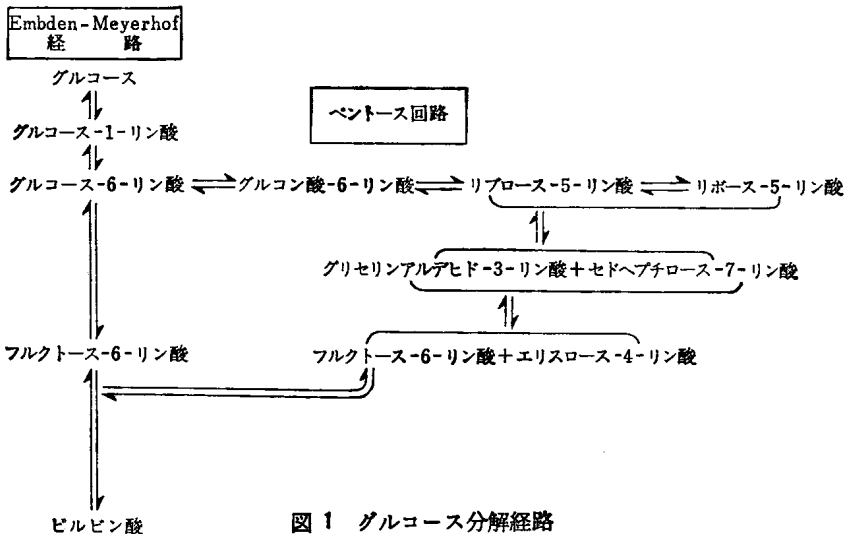


図1 グルコース分解経路

したグルコースとグルクロン酸を 2,4-D で処理したトウモロコシやエンドウの根端に与えた実験では、グルコースの分解がほとんどペントース回路を通るような結果を得た。さらに、2,4-D 処理が各経路の酵素系にどんな影響を与えるかを

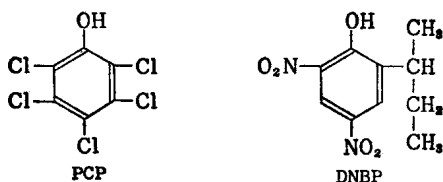
トウモロコシで試験した結果では、エムデン・マイヤーホフ経路にある酵素、フルクトース-6-リン酸キナーゼ、アルドラーゼ、グリセリンアルデヒド-3-リン酸デヒドロゲナーゼは 2,4-D 処理した組織からの抽出物で減少した。また、ペントース回路中のグルコース-6-リン酸デヒドロゲナーゼ、グルコン酸-6-リン酸デヒドロゲナーゼの活性が 2,4-D 処理した組織で増加した。このように酵素活性の増減も、植物体を用いた前述のアイソトープ実験の結果を一部分説明しうるようなものであった。ペントース回路は、可溶性ヌクレオチドの構成成分である糖の部分の合成への経路になっている。このヌクレオチドは、酸化的リン酸化反応、アミノ酸代謝、炭水化物の転換、リポイド合成などの重要な生化学反応に必須なものである。2,4-D が大豆芽生えの可溶性ヌクレオチドを増加させる知見と、2,4-D 処理植物のグルコース代謝のペントース回路への変化とは、ヌクレオチド構成成分の合成という点で関係があるようにみえる。

最近、オーキシンは、RNA、特にデオキシリボ核酸 (DNA) 依存 RNA またはアクチノマイシン D で合成の阻害される RNA の合成を促進する、ということが盛んに報告され、オーキシシン → RNA → タンパクという考え方が支持されている。前に述べたペントース回路の酵素活性が 2,4-D 処理植物で増加する現象も、このような酵素タンパク合成という見地から研究を進める必要がある。

(2) フェノール系除草剤

成分の化学構造の主核として、ベンゼン環に 1 個の水酸基をもった化合物群の除草剤で、PCP が代表的なものである。この型の除草剤は、殺草作用が接触型で選択性がほとんどなく、作用が速く、人畜、魚貝類に対する毒性が強い。

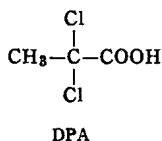
PCP の作用点としては、酸化的リン酸化反応の阻害があげられている。好気的な生物は、エネルギー獲得機構として、酸化的リン酸化と呼ばれる機構をもっている。生体内では、糖などの呼吸基質が酸化され、その化学エネルギーが ATP (アデノシン-3-リン酸) としてとらえられ、タンパク質の合成などの化学的エネルギーや運動などの物理的エネルギーの基になっている。このように生体で重要な役割をもっている ATP の生成を、PCP はまったくおさえてしまい、ただ呼吸基質の酸化だけが進行し、生物を死に追いやってしまう。



この型の除草剤である DNBP は、かなりの選択性がある。生体重を 50 % 減少させる施用量 (lb/A) として、コムギ 1.87, トウモロコシ 1.50 から、キャベツ 0.06, トマト 0.05 までの開きがある。この選択性の理由として、体内の ATP のレベルの差が問題であり、ATP を高濃度に保ちうる植物は抵抗性が大きいとしている。

(3) 脂肪酸系除草剤

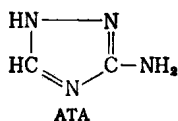
DPA (ダウボン, dalapon) で代表されるものである。



イネ科植物に作用が強い。浸透性があり、植物の葉や根から吸収され、移行し地上部の生長点を阻害して殺草作用をあらわす。

DPA は、濃度により、2つの生理的に意味のちがう作用が考えられている。高濃度の場合には、タンパク質の沈殿剤として作用し、生体で重要なはたらきをもっているタンパク質を変性させ、原形質を破壊することによって殺草作用をあらわす。低濃度の場合の殺草機構としては、植物体内でコエンザイム A (CoA) の成分であるパントテン酸の合成を阻害するためと考えられている。CoA は、TCA サイクル中の有機酸、脂肪酸、ステロイドの合成分解に関与し、植物の代謝、ひいては生長のかなめになる化合物である。

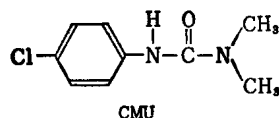
(4) アミノトリアゾール (ATA, amitrole)



この化合物が除草剤，および落葉剤として開発されてから作用機作について多くの報告がある。

ATA の作用の最も顕著な現象は，新しく展開する葉にクロロフィルが欠けてしまうことである。そのため，ATA はクロロフィルの合成を直接阻害するようにみえるが，生化学的な実験結果は，むしろ，プラスチドの発育を妨げる。ATA 処理したコムギ芽生えのプラスチドにおいて，70 S 葉緑体ライボソームと 18 S 分画 I タンパクが欠けていることがわかった。また，酵母，バクテリア，クロレラでは生長阻害が観察されており，アデニン，グアニン，ヒポキサンチン，キサントニン，ヒスチジンなどが拮抗的に作用することも知られている。高等植物の場合も，ATA の薬害がリボフラビンによって軽減することが観察されており，ATA の作用は，①プリン類利用の阻害剤であるか，②プリン類の生合成を阻害するものかであろう，との説もある。

(5) フェニル尿素系除草剤



CMU (モノユロン, monuron) で代表される型の除草剤である。殺草効果は徐々にあらわれ，特に光の弱いところでは，作用が緩慢である。根からは容易に吸収され，葉にクロロシスの徴候があらわれる。

この型の化合物でオオムギの幼植物を処理すると，その後の生体重の増加がおさえられる。これにショ糖を葉先から吸収させると，除草剤による生育阻害が軽減される。また，植物体中の糖濃度が，CMU によって著しく低下することも観察されている。人畜に毒性が少ないことから，光合成への影響をみた結果では，CMU の 1 ppm (約 5×10^{-6} M) の濃度でヒル反応（遊離葉緑体からの O_2 の発生）を完全におさえた。ヒル反応は，水分子の光化学的分解による O_2 の放出と還元性物質が生成することに関する限り，光合成と共通の機作で起こるものである。葉緑体の光リン酸化反応において，フェリシアン化カリを水素受容体とした場合や，FMN (フラビンモノヌクレオチド) を電子伝達体とした場合に