

植物代謝から見た除草剤の作用点

(1) 代謝マップ (俯瞰図 (素案))

2020年に公募を開始した内閣府主導の「ムーンショット型研究開発制度」は、「破壊的イノベーション」を目指して、9つの目標が掲げられている。その達成のための要素として、「Inspiring (わくわくする)」、「Imaginative (想像力をかき立てる)」、「Credible (説得力がある)」が掲げられている。この3つの要素は基礎から応用まで、何れの研究にも求められるものであろう。

さて、除草剤の作用点については、植物代謝における当該箇所を切り取って深掘した報告は多いものの、そこから雑草が除草剤によって枯れる仕組みの全貌を推測するのはとても難しい。そこで、植物代謝全体から作用点を俯瞰的に捉えることによって、上記3つの要素に近づく可能性を探った。初回は植物における代謝経路を除草剤の作用点を念頭にマップ化した。

1. 植物代謝

現在NHKで放映中の「らんまん」は、植物学者として著名な牧野富太郎を題材としたものである。そこで取り上げているように、植物の分類は、その形態、すなわち根、茎、葉、花等の器官の形や色の違いが種の同定の基礎になっている。植物は、根から土壤中の水や養分を吸収し、導管を通して地上部へ運ぶ。葉は太陽エネルギーを利用して光合成を行い、気孔から二酸化炭素を取り込んで、糖の形でエネルギーを蓄積する。蓄積されたエネルギーはヒトと同様に呼吸によって放出・利用される。これらを同化や異化という。例えば一年生植物は同化や異化を繰り返しながら成長し、開花・結実の生殖成長を経て、次世代に繋ぐ種子を生産した後、老化・枯死する生活環を有する。

一方、植物の内部に目を向けると、何れの器官や組織も個々の細胞から成り立っており、細胞分裂によって成長や形態形成する。次ページの植物代謝マップは、細胞の内部で起こっていることについて、上記の器官や細胞小器官を考慮せず、一つの平面に落とし込んだものである(図-1)。代謝マップの作成に際しては、参考文献等に

挙げた細胞機能と代謝マップ(日本生化学会編 1997)やMetabolic Pathways (Sigma-Aldrich 2003)の他、Websiteを中心に様々な資料を参照した。

細胞における代謝は3次元で行われており、細胞小器官の間を行き来する化合物もある。それを平面に無理やり落とし込んだため、かなり歪になっている。また、ATPやNADPHは生合成のエネルギー源であり、図-1に示した箇所以外にも多くの代謝に関与していることを付記しておく。

2. 除草剤の作用点

既存除草剤の作用点については、以前本誌のコラム「緒」のNo.2で取り上げた(與語 2021)。グローバルHRACコードにおいては、現在不明に類型化されているものを除けば、25の作用点がある。その記事の図-1において示したイメージ図は、作用点の位置も含めてかなり大まかなものであったが、今回のマップでは植物代謝と作用点の位置を少し詳細に示した(図-1)。また、既存除草剤の作用点をマップ上に網羅することを目指したため、植物代謝の全体構成や、代謝経路間の関連性については、やや正確性に欠けることはご容赦願いたい。

なお、代謝マップ上に落とし込んだ既存除草剤の作用点のHRACコードは3ページ目の表-1に示し、落とし込めなかった作用点はマップの右上に並べた。また、マップ上の略記や矢印等の説明も3ページ目(表-2)に付記した。

今回の主たる目的は、この代謝マップを紹介することなので、文章はこのくらいで納める。今後、作用点ごとにその周辺代謝系との関連性を含めて示すことを目指す。そのための情報収集や整理を進める中で、植物代謝の全体像の修正が必要になることは容易に想像できるので、タイトルを代謝マップ(俯瞰図(素案))とした。間違いを含めてご指摘いただければ幸いである。

参考文献等

日本生化学会編 1997. 細胞機能と代謝マップ I. 細胞の代謝・物質の動態. 東京化学同人, PP.302.

Sigma-Aldrich 2003, Metabolic Pathways, 22nd Edition Designed by Donald E. Nicholson, https://www.sigmaaldrich.com/deepweb/assets/sigmaaldrich/product/documents/392/416/sigma_metabolic_pathways.pdf (2023年5月24日確認)

與語靖洋 2021. 除草剤のRACコード. 植調 55(8), 21-22.

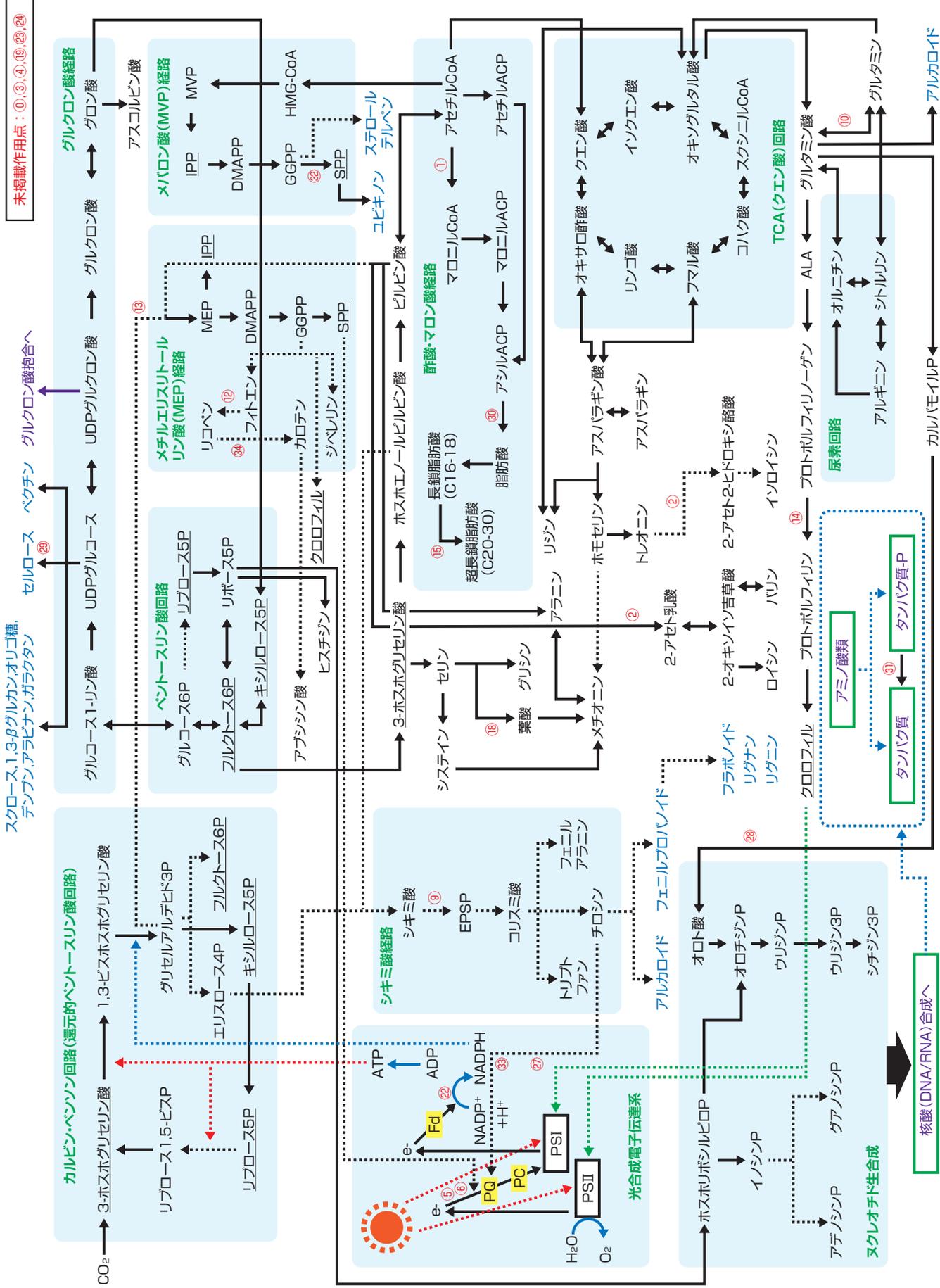


図-1 植物代謝マップと除草剤の作用点

表-1 除草剤の作用点による分類 (HRAC コード)
*グローバル HRAC コード

新*	旧	作用点(日本語)	作用点(英語)
1	A	アセチルCoAカルボキシラーゼ阻害	Inhibition of ACCase
2	B	アセト乳酸/アセトヒドロキシ酸合成酵素阻害	Inhibition of ALS/AHAS
3	K1	微小管重合阻害	Inhibition of microtubule assembly
4	O	インドール酢酸様活性(合成オーキシニン)	Auxin mimics
5	C1	光合成(光化学系II)阻害	Inhibition of photosynthesis PS II – Serine 264
	C2	光合成(光化学系I)阻害	Inhibition of photosynthesis PS II – Serine 264
6	C3	光合成(光化学系II)阻害	Inhibition of photosynthesis PS II – Histidine 21
9	G	EPSP 合成酵素阻害	Inhibition of EPSP synthase
10	H	グルタミン合成酵素阻害	Inhibition of glutamine synthetase
12	F1	ファイトエン飽和酵素系でのカロチノイド合成阻害	Inhibition of PDS
13	F4	1-デオキシ-D-キシルロース-5-リン酸合成酵素阻害	Inhibition of DOXP synthase
14	E	プロトポルフィリノーゲン酸化酵素阻害	Inhibition of PPO
15	K3	超長鎖脂肪酸伸長酵素阻害(細胞分裂阻害)	Inhibition of VLCFAEs
18	I	ジヒドロプロテイン酸合成酵素阻害	DHP inhibition
19	P	オーキシニン移動阻害	Auxin transport inhibitors
22	D	光化学系I:ラジカル形成	PS I electron diversion
23	K2	有糸分裂/微小管形成阻害	Inhibition of microtubule organization
24	M	脱共役	Uncouplers
27	F2	4-ヒドロキシフェニルピルビン酸ジオキシゲナーゼ阻害	Inhibition of HPPD
28		ジヒドロオロチン酸デヒドロゲナーゼ阻害	Inhibition of DHOD/DHODH
29	L	細胞壁(セルロース)合成阻害	Inhibition of cellulose synthesis
30	Q	脂肪酸チオエステラーゼ阻害	Inhibition of fatty acid thioesterase
31	R	セリン/スレオニン特異的ホスファターゼ阻害	Inhibition of serine threonine protein phosphatase
32	S	ソラネシリン酸合成酵素阻害	Inhibition of solanesyl diphosphate synthase
33	T	ホモゲンチジン酸ソラネシルトランスフェラーゼ阻害	Inhibition of homogentisate solanesyltransferase
34	F3?	カロチノイド合成(標的部不明)阻害	Inhibition of lycopene cyclase
O	Z	不明(注)	Unknown mode of action

(注)コードZに類型化された除草剤の作用部位は不明であるが、コード内あるいは他の作用点分類において不明に類型化されたものは作用部位が異なる。例えば旧HRAC codeのN(脂肪酸および脂質合成阻害(非ACCase阻害)),旧WSSA=8/16/26)はここに位置付けられている。

表-2 図-1 における略記等

略記	内容
Ac	アセチル
ACP	アシルキャリアータンパク質 (Acyl Carrier Protein)
CoA	コエンザイムA
DMAPP	ジメチルアリルニリン酸
Fd	フェレドキシン
GGPP	ゲラニルゲラニルニリン酸
HMG	ヒドロキシメチルグルタリル
IPP	イソペンチルニリン酸
MEP	メチルエリスリトールニリン酸
MVP	メバロン酸
P	リン酸。数字+Pは、リン酸の位置を示す(1リン酸,3リン酸等)
PC	プラストシアニン
PQ	プラストキノン
PSI	光化学系1
PSII	光化学系2
SPP	ソラネシルピロリン酸
UDP	ウリジンニリン酸

記号	内容
下線	マップ上の複数の場所にある化合物
矢印(黒)	物質変換 実線:直接 点線:複数の物質を経由 片方向:非可逆的 両方向:可逆的
矢印(赤)	エネルギー(ATP)関係
矢印(青)	水素(NADPH)関係
矢印(緑)	クロロフィル