

トマト施設栽培における土壤酵素活性

大村 裕顕

I 緒 言

土壤中では、多種多様の生物が活動し、さまざまな生物的作用が相互に影響をおよぼしあっている。植物や微生物遺体などから、土壌へは各種の有機物が供給されている。土壌へ供給された高分子化合物のほとんどが、生体細胞の内外に存在する酵素によって代謝が進行する。酵素は、特定の物質の代謝に特別に強い作用をおよぼす、いわゆる基質特異性をもっている。生体内における酵素は、土壌中で生体外においても、その活性を持ちつづけることが確認されている。生体外で活性を示す酵素とは、生きた細胞の外に存在して、生命系が停止した細胞を離れて活性をもちうる酵素である。土壌中で生体細胞を離れて存在する酵素を狭く土壤酵素と定義している。生体内における酵素は、すでに千数百種確認されているが、土壌中でその活性が今世紀初頭に検出されて以来、現在までに確認されているものは、約50種類である。

本研究では、それらの土壤酵素群の中でとくに β -グルコシダーゼ (β -glucosidase) 活性に注目して実験を行った。この酵素の基質の中には、アミグダリンやフロリジンのようないや地毒素の前駆物質と考えられているフェノール性の β -グルコシドが知られている。フェノール性の β -グルコシドは、すでに、多くの植物でその存在が知られている^{2, 3, 7)}。 β -グルコシダーゼは、フェノール性の β -グルコシドを加水分解して、グルコースとフェノール性物質を生成する酵素である。フェノール性物質は、酸化されキノンなどになり植物のかわ変現象のプロセスに関与する物質として知られている^{3, 7)}。

フェノール性の β -グルコシドを加水分解する β -グルコシダーゼは、植物病理学的観点からも関心をもたれている⁹⁾。

栃木県は、春どり施設トマトの生産が多く、京浜地区への供給基地的地域である。施設は、固定的構造が多くを占め、トマト作付がくり返されている。古い施設ほ場では、作柄の不安定がめだってきている。とくに根のかわ変による減収が著しい。本報告では、トマト施設ほ場における根のかわ変と β -グルコシダーゼ活性との関連性及び収量等と β -グルコシダーゼ活性との関係について検討した。

II 試料及び酵素活性の測定法

1. 土 壤

本実験は、施設栽培の春どりトマトほ場の土壌を供試して行った。栃木県内の中央から東部に位置する、設置年次や栽培管理などの異なっている施設ほ場15か所を選定した。土壌は、県内に広く分布する黒ボク土である。土壌試料は、株間の作土層(0~15cm)より採取して、 ϕ 2 mmのフルイを通し、ポリエチレン袋に入れて分析日まで約5℃で保存した。なお、土壌試料はトマト根を含んだ根圏及び非根圏を込みにしたものである。試料の採取は、定植1か月後、収穫盛期、収穫末期の計3回行った。第1表にはほ場の管理、収量等、第2表に供試土壌の化学性等を示した。第1表は、聞き取りによる調査である。

2. 土壤酵素活性の測定法

湿潤土壌0.5gを試験管にとり、静菌剤としてトルエン 0.1ml, 純水 0.9ml, 緩衝液 1.5ml,

栃木県農業試験場研究報告第26号

第1表 供試ほ場の管理、収量及び作付回数

供試施設 No.	栽 培 歴			品 種	有機物施用量*1		施 肥 量**			収 量*1		A級果 実率**	トマト作 付 回 数
	1978年 ~6月	休 閑 ~10月	79年 11月~6月		79年 ~6月	77年 10月	78年 10月	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	a当り		
1	トマト	休 閑	トマト	強力秀光	0.09	0.13	5.0	2.5	5.9	1.35	0.11	75	9
2	トマト	キュウリ	トマト	強力秀光	0.18	0.02	3.0	1.9	5.2	1.20	0.08	30	7
3	トマト	休 閑	トマト	改良秀光	0.03	0.16	4.1	1.5	5.6	1.24	0.10	35	12
4	トマト	ソルガム	トマト	強力秀光	0.12	0.30	2.8	1.7	4.1	1.20	0.16	40	2
5	トマト	ソルガム	トマト	高千穂	-	0.14	6.1	1.6	6.2	1.10	0.18	50	8
6	トマト	休 閑	トマト	試交 522	0.09	0.22	2.2	1.9	3.2	1.41	0.20	80	6
7	トマト	ソルガム	トマト	大 宮	0.24	0.20	1.5	2.9	2.7	0.80	0.09	30	10
8	トマト	休 閑	トマト	東光K号	0.36	0.32	1.5	0.6	4.0	1.00	0.15	75	10
9	トマト	休 閑	トマト	大型瑞光	0.18	0.16	3.6	1.5	1.5	1.04	0.13	30	2
10	トマト	休 閑	トマト	強力秀光	0.06	0.09	5.6	2.0	5.5	1.10	0.16	30	10
11	トマト	休 閑	トマト	大 宮	0.02	0.17	1.6	1.6	1.7	0.82	0.10	60	2
12	トマト	キュウリ	トマト	大 宮	0.12	0.15	3.5	2.7	3.8	1.43	0.18	65	5
13	トマト	キュウリ	トマト	大 宮	0.05	0.17	1.4	1.1	2.4	0.60	0.07	20	7
14	トマト	キュウリ	トマト	大 宮	0.06	0.08	2.6	1.2	1.7	0.75	0.09	10	12
15	トマト	キュウリ	トマト	大型瑞光	0.18	0.14	4.5	1.6	3.3	1.40	0.13	40	10

〔注〕 *1 : t/a, *2 : kg/a, *3 : 品質, 形状, 着色良好で空どう, 割れがないもの
(青果物自主検査規格). 有機物施用量は乾物換算.

第2表 供試土壌の化学性及び糸状菌・細菌数

試料 No.	pH (H ₂ O)	T-C (%)	T-N (%)	C/N	置換性塩基*1			トルオグ*1 P ₂ O ₅	リン酸吸 収係数	糸状菌数(×10 ⁴)		細菌数(×10 ⁴)	
					K ₂ O	MgO	CaO			収獲盛期	同末期	収獲盛期	同末期
1	6.1	6.34	0.58	10.9	237	146	935	100.6	2650	72	53	161	190
2	6.1	7.21	0.59	12.2	137	111	844	118.6	2264	69	5	153	93
3	5.9	7.21	0.65	11.1	138	199	1054	240.1	2136	175	6	551	139
4	5.9	8.68	0.61	14.2	171	123	786	25.1	2612	91	100	112	105
5	5.3	7.28	0.54	13.5	163	124	796	91.2	2194	21	27	42	41
6	5.8	8.19	0.58	14.1	70	88	572	22.4	2711	95	36	64	94
7	6.7	11.31	0.82	13.8	184	277	1169	71.0	2579	42	31	268	91
8	6.7	7.18	0.45	16.0	96	205	897	74.2	2226	146	76	187	147
9	6.3	4.61	0.37	12.5	136	132	737	18.5	2537	31	32	197	63
10	6.3	8.07	0.54	14.9	135	77	724	34.9	2465	107	132	93	54
11	6.0	7.05	0.43	16.4	117	92	639	16.6	2328	39	36	61	36
12	5.9	6.29	0.40	15.7	119	95	781	41.4	2172	89	49	232	172
13	6.6	5.39	0.32	16.8	79	212	971	115.6	1854	59	77	163	183
14	5.8	8.95	0.65	13.8	92	304	1167	149.2	2349	43	17	111	41
15	6.6	8.85	0.49	18.1	100	287	1106	97.2	2257	492	70	161	160

〔注〕 *1 : mg/100g 乾土, *2 : マーチン培地, *3 : アルブミン寒天培地.

トマト施設栽培における土壌酵素活性

基質 0.6mlをそれぞれ加え合計 3.0ml (トルエンは除く)とし、30℃のウォータバス中で60分間インキュベートした。緩衝液には pH 5.0 のクエン酸—リン酸緩衝液 (McIlvaine buffer), 基質は、1/20Mの *p*-ニトロフェニルβ-D-グルコピラノサイド溶液を用いた。

インキュベーション終了後エタノール 8 mlを加え酵素反応を止め、ひだ折ろ紙 (東洋No131) でろ過した。ろ液にトリス溶液 (2 M) 2 mlを加え、β-グルコシダーゼによる加水分解で遊離した *p*-ニトロフェノールを比色 (ΔOD 400 nm) 定量した。土壌試料の保存期間は、定植初期、収穫盛期、収穫末期それぞれ80日、24日、127日であった。

土壌酵素活性の単位として“mU”を用いた。1 mUは、30℃で1分間に1 nano moleの反応生成物を生ずる土壌酵素の量である。

Ⅲ 実験結果

第1, 第2表に示すように、一部に多肥施用

第3表 土壌酵素活性及び根かっ変率

試料 No.	β-グルコシダーゼ活性*1			収穫盛期*2 の根かっ変率
	定植 初期	収穫 盛期	収穫 末期	
1	16.9	22.5	23.9	+
2	17.1	16.9	14.9	++
3	20.3	24.6	19.0	++
4	9.4	11.7	10.6	—
5	5.0	5.8	5.6	—
6	9.7	10.0	6.1	—
7	21.1	25.2	19.4	++
8	15.6	19.0	17.4	+
9	7.9	10.2	11.2	—
10	7.5	8.3	8.5	—
11	3.6	4.3	4.6	—
12	13.0	17.0	13.0	++
13	15.5	21.6	15.4	++
14	66.4	29.9	51.4	++
15	7.5	12.3	12.8	+

[注] *1 mU/g乾土, 30℃インキュベーション.

*2 —<10%, +<40%, ++<70%, +++<100%.

ほ場があったが、施肥量は全般的に少肥傾向であった。多肥施用のほ場では、A級果実比率が低下する傾向がみられた。低収ほ場と高収ほ場とでは、2倍以上の収量差があった。各ほ場で収穫果房数や栽植密度が異なるので、一果房の単位面積当たり収量に換算した結果、その差はさらに大きくなった。トルオグリン酸、置換性塩基が、本調査ほ場では一般畑に比べて、かなり多くほ場は、肥よくな状態になっていた。施設の設置年数の長いほ場ほどその傾向が著しかった。

有機物は、年によって各ほ場で、施肥量が非常に異なっていた。施用された有機物は、たい肥、きゆう肥が主であったが、その材料はイナワら、おがくず、落葉とさまざまであった。ほとんどのほ場で、たい肥以外に油粕やけい糞などが施用されており、第1表の有機物施肥量は、油粕類、たい肥類をそれぞれ乾物率90、30%として計算した値である。

ほ場別のβ-グルコシダーゼ活性及び根かっ変率を第3表に示した。根かっ変率は、収穫盛期に調査した。活性の平均値は、いずれの時期でも約16mU/g乾土で、ほぼ一定であったが、一部のほ場を除けば、収穫盛期で活性がやや高かった。活性は、根のかっ変の激しいほ場で高く、また、トマト作付回数の多いほ場で高かった。それらの関係を第1図に示した。

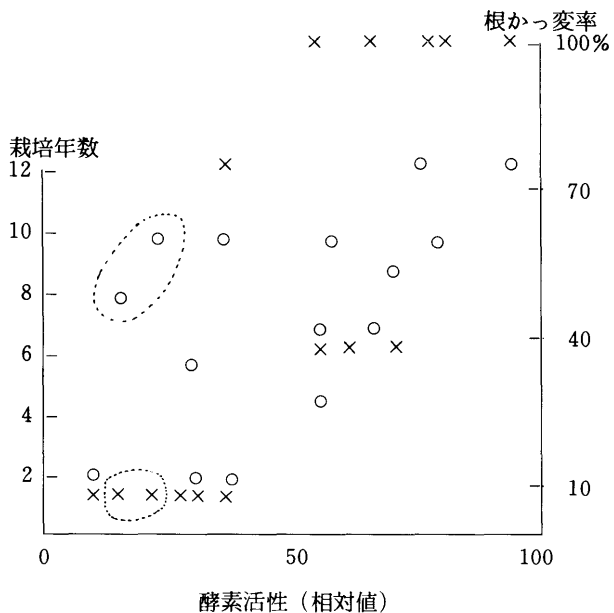
第4表に、β-グルコシダーゼ活性とトマト収量及び栽培年数等との相関を示した。酵素活性とアール当たりの収量、A品果実率、有機物施肥量を除けば、トマト生育のいずれかの時期で、5あるいは1%レベルで相関が認められる。

Ⅳ 考察

トマトの栽培年数や根のかっ変あるいは収量等と土壌のβ-グルコシダーゼ活性とが、どのようなかわりをもっているのかを調査した。根かっ変程度の激しいほ場では、β-グルコシ

ダーゼ活性が相対的に高い。また、褐変根の多いほ場の設置年次が比較的古く、トマトがくり返し作付されている。連作土壤の β —グルコシダーゼ活性は、収量に対してマイナス要因となりうる因子であるとの仮説を立て調査した研究がある^{5, 8)}。その結果は、収量と酵素活性とにマイナスの関連性があり、一応その仮説を支持していた。収量の低かったほ場で、土壤の β —グルコシダーゼ活性がなぜ高まるのかについての詳細な理由は、解明されていない。数種類の植物でかっ変した病徴部分と健全な部分の β —グルコシダーゼ活性を比較すると、病徴部分で相対的にその活性が高くなっていたと報告している^{4, 7, 9)}。すなわち植物の病徴の主な症状であるかっ変と β —グルコシダーゼとは、密接な関連があると考えられる。このような作用をもちうる β —グルコシダーゼ活性が高い土壌に生育する植物は、何かの条件が加わることによって、根のかっ変等の発現が考えられる。

第1図 β —グルコシダーゼ活性とトマト栽培年数及び根かっ変率



[注] ○ 栽培年数、 × 根かっ変率、
 ○ 太陽熱消毒実施ほ場。

作物の生育収量は、根の状態にかなり支配されるという側面をもっている。量的質的に健全な根の生育は、根分泌物などの供給を通じて、土壤微生物の活動に影響をおよぼす。BLAGOVESHCHENSKAYA and DANCHENKO¹⁾は、トウモロコシの連輪作ほ場で根量と粗タンパク収量とを比較した結果、輪作ほ場で根量が多く、粗タンパク収量が高く、また輪作ほ場では土壤酵素活性も連作のものより高かったと報告している。根量が多くなれば、一般には土壤微生物活動が活発になる。土壤微生物活動が活発になった結果、土壤酵素活性が高くなることは、十分考えられる。これら一連の系は、いわゆる根圏効果といわれる現象である。量的質的に健全な根、根圏微生物の活発な活動、土壤酵素活性の高揚、このようなプロセスに対し、土壤の β —グルコシダーゼ活性を収量にマイナス要因とみなすことに矛盾しているようにも考えられる。しかし土壤の β —グルコシダーゼ活性が高いのは、かっ変根などの土壤への混入程度の指標的側面をもっていると仮定すれば、説明しうる。

収穫盛期のトマトほ場での根かっ変率と β —グルコシダーゼ活性とは、1%水準で有意 ($r : 0.677$) であり、根かっ変とその活性との関連については、説明しうるデータが得られた。一方、定植1か月後頃で、5%レベルで有意であった ($r : 0.606$) が、この時期には、トマト根のかっ変はほとんど認められなかった。なお定植初期、収穫末期の根褐変率と β —グルコシダーゼとの相関値は、収穫盛期の根かっ変率と各期のその活性との関係を表したものであり、それぞれ時期における根の状態と活性とを表したのではない。すなわち収穫盛期の根の状態をみて、このようなことが発生するとすれば、前状況がどの

トマト施設栽培における土壌酵素活性

ようになっていたか、あるいは、その後活性が変化するのか、しないのかを確認する意味で、その関係をみた。その結果は、 β -グルコシダーゼ活性が定植初期より収穫末期まであまり変わらないことがわかった。定植まもない時期には、トマト根の活力が高いため、土壌の状況にほとんど規制を受けなかったように想定される。

トマトの栽培年数と β -グルコシダーゼ活性との相関と、根褐変率と β -グルコシダーゼ活性との相関は、トマトの生育ステージごとにパターンが良く似ていた。このことは、栽培年数とその活性に影響して、根かっ変の発生が現れていない時期から、その活性が高かったものと考えられる。 β -グルコシダーゼ活性が、定植期から高いほ場では、根の褐変が発生しやすい条件になっているものと推定できる。

施用は、若干 β -グルコシダーゼ活性を低める作用があるのかも知れない。

土壌のトルオグリン酸、置換性マグネシウムやカルシウムと β -グルコシダーゼ活性との間には、正相関が認められた。調査したほ場は、かなり肥よくなっていたが、トマトの活着や初期生育が悪化するようなことはなかった。施設栽培ほ場は、一般に多肥に管理されていて、年数経過にともなって、トルオグリン酸などは増加傾向になる。本調査でも、設置後の栽培年数と土壌の肥よく性とは、有意でありそれを裏付けていた。一方、栽培年数と β -グルコシダーゼ活性との相関も有意であった。これらの関係によって土壌の肥よく化と β -グルコシダーゼ活性との間に相関関係が生じたものと考えられる。しかし、その相関を因果関係と考えるの

第4表 β -グルコシダーゼ活性とトマト収量及び栽培年数等の相関

	トマト生育ステージ別の β -グルコシダーゼ活性 r (df=13)		
	定植初期	収穫盛期	収穫末期
収量/アール	- 0.373	- 0.251	- 0.308
収量/果房/アール	- 0.422	- 0.564*	- 0.472
A級果実率	- 0.444	- 0.314	- 0.412
栽培年数	0.597*	0.798**	0.649*
根かっ変率	0.606*	0.677**	0.594*
有機物施用量	- 0.278	- 0.092	- 0.247
トルオグ P ₂ O ₅	0.498	0.679**	0.535*
置換性 MgO	0.614*	0.675**	0.664**
置換性 C O	0.587*	0.732**	0.670**

[注] 栽培年数は、df=11 (太陽熱処理ほ場No.5, 10を除外)。

* 5%レベルで有意 r (0.05) はdf13: 0.514, df11: 0.553.

** 1%レベルで有意 r (0.01) はdf13: 0.641, df11: 0.684.

根かっ変率は、-: 1, +: 4, #: 7, #: 10とした。定植初期および収穫末期の相関値は、収穫盛期のかっ変率をもとに算出した。

有機物施用量と β -グルコシダーゼ活性とは、相関性が認められなかった。未分解有機物と既分解有機物とを込みにして評価した結果、その関連性がいまいになってしまったのかも知れないが、傾向としては、活性に対してマイナス的に作用するようである。すなわち、有機物の

は妥当でない。すなわち、土壌の肥よく化により β -グルコシダーゼ活性が高まり、根がかっ変したりする系が成立することは考えられない。

土壌の β -グルコシダーゼは、至適 pH と基質特異性のパターンが、糸状菌起原のそれらと類似性が高いという報告⁶⁾がある。本実験では、

収穫盛期及び末期における土壤糸状菌数（マール培地）と活性との相関はなかった。酵素起源の類似性が、直接的には、菌数と活性との相関には結び付かないのかも知れない。

作物の収量性については、多くの要因が関与している。温度、光、水、養分、管理などさまざまな条件をみたして、結果として現れるものが収量である。土壤の β -グルコシダーゼ活性の高低が、収量性に短絡的に結びつくわけではないが、連作ほ場において、その活性が高いことは、“作りにくい土壤環境”の証的側面をもち得ると考えられる。

V 摘 要

1. 春どりの施設トマト栽培ほ場において、単位面積当たりの1果房収量の低いほ場は、 β -グルコシダーゼ活性が高かった。

2. A級果実の割合は、 β -グルコシダーゼ活性の高いほ場で低くなる傾向であった。

3. トマトの栽培年数と β -グルコシダーゼ活性とは相関が高く、また根のかっ変率とも高い相関が認められる。

4. 有機物施用量と β -グルコシダーゼ活性とは、明確な関係がみられなかった。

本研究を行なうにあたって、ご指導ご援助をいただきました当场土壤肥料部中野政行部長、

同野菜部木村 栄技師、氏家農業改良普及所村上 功主査、同君島好美技師、市貝農業改良普及所栗田義之技師、宇都宮農業改良普及所渡辺正主査、普及教育課関 一男技師、試料の提供をいただきました方々、実験結果の評価についてご助言いただきました農業技術研究所化学部都留信也室長、同早野恒一主任研究官に心より感謝致します。

引用文献

1. BLAGOVESHCHENSKAYA, Z. K. and DANCHENKO, N. A.: *Soviet Soil Sci.*, **6**, 569~575 (1974)
2. DAVIS, D., WAGGONER, P. E. and DIMOND, A. E.: *Nature*, **172**, 959-961 (1953)
3. DONALD, C. H. and MILTON, N. S.: *Phytopathology*, **54**, 59-63 (1964)
4. —————: —————, **54**, 640-645 (1964)
5. 早野恒一: 土肥誌, **49**, 158-162 (1978)
6. HAYANO, K. and KATAMI, A.: *Soil Biol. Biochem.*, **9**, 349-351 (1977)
7. MELOUK, H. A. and HORNER, C. E.: *Phytopathology*, **63**, 973-975 (1973)
8. 大村裕顕・早野恒一: 土肥誌, **50**, 291-296 (1979)
9. SHERROD, L. L. and DOMSCH, K. H.: *Soil Biol. Biochem.*, **2**, 197-201 (1970)