作物の根部に於ける酸素要求度に関する研究

第1報 作物根による硝酸鹽の生化学的還元と品種間差異について*

菅 原 友 太

(東京大学農学部)

Studies on oxygen requirement of crop roots. 1. Biochemical reduction of nitrate by crop roots and varietal difference, T. SUGAWARA.

I 緒 言

従来土壤中に於ける作物根の酸素要求度が、その種類、品種等によつて異なることは、多くの人々によつて研究が行われ、また実際問題としても長い間の経験から知られている。例えば開墾当初の土壌のように還元状態であつたり、或は水田裏作、田畑輪換等に屢々みられるように過湿であつたりして土壌中の酸素が欠乏すると、各種作物または品種の示す生態的特性に著しい差異を生ずる。その原因は直接或は間接的に極めて多種多様であるが、最も大きな原因の一つは根の酸素要求度が異なるからである。

一方に於て著者は種々の作物を水耕試験しているうちに、水耕液中に於ける根の還元作用が、作物の種類や品種によつて、著しい違いのある事を確めた。例えば一般畑作物では硝酸鹽を窒素源とせる水耕液中に於て、根の還元作用によつて水耕液中に亜硝酸の生成が認められたが、水稻ではこのような還元作用を確めることはできなかつた。またこのような関係は二三の実験成績でも既に認められている。此等の事実を綜合してみると、耐湿性が極めて強く、比較的土壌中の酸素の要求度の低い作物では、根の還元作用が弱く、これと反対に酸素要求度の高いものでは還元作用が旺盛であるように考えられた。即ち作物根の酸素要求度と還元作用との間には密接な関係があるように思われた。そこで本実験は根の還元作用の本質を究明し作物の種或は品種によつて還元作用に差異をきたす原因を確め、更にこのような還元作用がなぜ酸素の要求度と密接な関係を有するかを明確ならしめるために行われたものである。本研究を行うに当り、終始御懇篤なる指導を賜つた野口教授に対して深甚なる謝意を表する。尙本研究は文部省科学研究費による成績の一部である。

II 実験材料並に方法

本実験は東大農学部構内の硝子室で行われたものである。供試作物は大豆 12 品種、大麦 14 品種、小麦 7

第1表 水耕液の組成

Composition of nitrate nutrient solution

Salts used	Parts Per Million							
	N	P	K	Ca	Mg	Cl	S	Fe
Calocinm nitrate	28			40				
Potassium phosphate		15	20					
Potassium sulphate			40				32	
Magnesium sulphate					24		32	
Iron sulphae							3	5
Micro-elements :								
B, Mn, Zn, 0.5~1.0								
P.P.m. each								
Total	28	15	60	40	24	0	67	5

品種、サツマイモ 12 品種、ナタネ 14 品種であつて、その他二三の作物及び雑草も用いた。これらの作物の種子を予め石英砂に播種し、本葉 1~2 枚展開期の幼苗を窒素源として硝酸態窒素を含む水耕液に培養した。水耕の容器には 300 cc の三角フラスコを用い、これを黒色紙で覆い、植物体は綿栓で固定した。水耕液の組成は第1表の如くであつて、0.1N H₂SO₄を用いて pH 5.0 に調節した¹²⁾。水耕液は 3~4 日に1回更新し、その度毎に旧液につき Griess 法によつて亜硝酸を定量して、水耕期間中に生成された亜硝酸の総量を求めた。一般に水耕の容器を大きくしたり、水

*昭和 25 年 4 月 9 日 第 87 回講演会に於て発表 同日受理
日本作物学会紀事 第 20 巻 第 1~2 号

耕液を12時間毎に取りかえたり、水耕液に通気を行ったりすると、亜硝酸の生成は殆んど認められない。従つて、ここでは比較的通気状態の悪い条件のもとで水耕を行つて亜硝酸の生成状態を比較した。

III 実験成績

先ず数種の作物及び雑草につき、水耕液中に於ける亜硝酸の生成の有無を調べた成績は第2表の通りである。

第2表 亜硝酸の生成 Formation of Nitrous acid in nutrient solution

Plants		NO ₂ -N	Plants		NO ₂ -N	Plants		NO ₂ -N
水	稲	—	トウモロコシ	++++	スズメノテツボウ	—		
小	麦	++	サツマイモ	++	イヌビエ	—		
大	麦	++	ゴマ	++++	カヤツリグサ	(+)		
大	豆	++	ナタネ	++	タシボポ	+++		
アズキ		+++	ワタ	++++	ヒメジョオン	+++		

これによると、水稻及び水田に生育する禾本科雑草では亜硝酸の生成が認められない。即ち根の還元力が極めて弱い。これと反対に比較的乾燥にも耐える作物では根の還元力も旺盛であつて、水耕液中の亜硝酸の濃度も高い。

次に大豆の12品種を使用し、第1本葉展開期より1ヶ月間水耕を行い、この期間中に於ける亜硝酸の生成量(1品種4容器平均)を測定した成績を表示すると第3表の如くである。これによると、亜硝酸の生成量即ち根の還元力は3号早生、地塚茨城1号などが極めて高く、その他の品種では還元力が低い。即ち洪積台地の火山灰土のような軽鬆土や乾燥地に栽培される品種の根の還元力は、沖積地帯に栽培される品種や、従来比較的耐湿性が強いと云われている品種に比べて、極めて強力のものである。

第3表 水耕液中に於ける大豆の硝酸塩還元状態(水耕期間1ヶ月)

Reduction of nitrate in nutrient solution by soy-bean.

Varieties	Dry Weight per plants (g)	Root dry weights per plants (g)	NO ₂ -N (g)	NO ₂ -N/0.1 g. root weight	Water absorption per plant (c. c.)	Water absorption/1g. Dry weight (c. c.)
農林1号(Norin No. 1)	1.14	0.14	0.0360	0.0257	266	233.3
陸羽27号(Rikuu No. 27)	2.05	0.30	0.0261	0.0086	304	148.2
銀白(Ginziro)	1.45	0.25	0.0205	0.0082	340	234.4
3号早生(Sangowase)	1.80	0.40	0.1386	0.0346	345	191.4
地塚茨城1号(Zizuka Ibaragi No. 1)	2.00	0.31	0.0926	0.0298	372	186.0
大津在来(Ôtsu zairai)	1.36	0.22	0.0627	0.0285	495	363.9
農林2号(Norin No. 2)	1.32	0.21	0.0197	0.0094	482	365.1
黄色秋大豆(Oushoku akidaizu)	2.03	0.28	0.0708	0.0253	371	182.7
白花埼1号(Sirobana Sai No. 1)	2.15	0.25	0.0300	0.0110	390	181.3
ペキン(Pekin)	1.95	0.30	0.0830	0.0276	342	175.0
赤莢(Akasaya)	2.06	0.31	0.0270	0.0087	350	
鬼裸(Onihadaka)	2.12	0.29	0.0255	0.0088	360	

同様のことをサツマイモについて調べるため、9月10日圃場に普通栽培しているサツマイモの蔓の先端を約15cmの長さに取り切り、10日間石英砂中に挿し、これを9月20日より1ヶ月間水耕を行つた。その成績は第4表の通りである。これによると、紅赤、農林8号、護国、農林1号、関東6号などは硝酸塩の還元力が強いが、沖繩100号、兼六、農林4号、太白等の品種は根の還元作用があまり強くない。このような傾向は同一品種を異つた環境のもとに栽培し、その先端を切り取つて水耕を行つた場合にも認められた。また以上の成績は一般的にみるならば、比較的乾燥地に適する品種は根の還元作用が旺盛であつて、これと反対に湿地にも生育し得る品種は概して根の還元力は低いようである。

また同様の実験を稗麦、皮麦、小麦等の麦類についても行つた。10月25日各品種の種子を石英砂中に播種し、2週間後、水耕に移し、その後1ヶ月間水耕を続け、根の還元作用を測定した。その成績は第5表に示す

第4表 水耕中液に於けるサツマイモの硝酸塩還元状態(水耕期鎌1ヶ月)
Reduction of nitrate in nutrient solution by Sweet-Potato

Varieties	Dry Weight per plant (g)	Root dry weight per plants (g)	NO ₂ -N (g)	NO ₂ -N/ 0.1g Root weight (g)	Water abs- orption per plant (c. c.)	Water absorp- tion/ 1 g. dry weight (c. c.)
紅 赤(Beniaka)	2.72	0.15	0.0464	0.0309	225	82.7
農 林 8 号(Norin No. 8)	3.00	0.20	0.0439	0.0219	172	57.3
沖縄100号(Okinawa No. 100)	3.33	0.30	0.0335	0.0112	350	106.0
関 東 6 号(Kanto No. 6)	2.95	0.25	0.0481	0.0192	346	117.2
護 国(Gokoku)	2.79	0.19	0.0611	0.0321	281	100.7
兼 六(Kenroku)	3.69	0.36	0.0425	0.0118	390	105.6
農 林 2 号(Norin No. 2)	2.92	0.22	0.0434	0.0197	293	100.3
太 白(Taihaku)	3.40	0.29	0.0402	0.0135	385	113.2
農 林 4 号(Norin No. 4)	3.81	0.31	0.0395	0.0128	381	100.0
ナンシーホール	3.70	0.30	0.0458	0.0153	365	98.6
関 東 18 号(Kanto No. 18)	3.59	0.25	0.0443	0.0185	345	96.1
農 林 1 号(Norin No. 1)	3.66	0.32	0.0538	0.0168	346	95.5

第5表 水耕液中に於ける硝酸塩の還元状態(水耕1ヶ月)(裸麦, 皮麦, 小麦)
Reduction of nitrate in nutrient solution by barley and wheat

種 類	品 種	Dry weight per plant(g)	Root dry weight per plant (g)	NO ₂ -N (mg)	NO ₂ -N/ 0.1 g Root weight(mg)
裸 麦	コビンカタギ (Kobinkatagi)	1.90	0.38	81.0	21.3
	一 早 生 (Ichiwase)	1.82	0.34	97.2	28.5
	赤 神 力 (Akasinriki)	2.30	0.41	82.3	20.0
	大 分 稈 (Ôitahadaka)	1.60	0.33	95.6	28.9
	白 珍 好 (Sirochinko)	1.75	0.31	91.0	29.3
	陸 羽 1 号 (Rikuu No. 1)	1.86	0.36	82.7	22.9
	薄 皮 (Usukawa)	1.75	0.40	89.5	22.3
皮 麦	竹 林 (Chikurin)	1.70	0.32	87.6	27.1
	大 穀 (Ôgara)	2.40	0.41	79.5	19.3
	気 高 六 角 (Kidakarokkaku)	2.44	0.39	77.6	19.8
	大 六 角 (Dairokkaku)	1.60	0.25	80.1	32.0
	岩 手 1 号 (Iwate No. 1)	2.00	0.51	69.5	13.6
	三 徳 (Santoku)	2.16	0.38	76.5	20.1
	鎌 倉 (Kamakura)	1.35	0.35	86.3	24.6
小 麦	埼 玉 27 号 (Saitama No. 27)	1.81	0.35	84.5	24.1
	農 林 16 号 (Norin No. 16)	1.92	0.43	58.7	14.6
	丸 珍 1 号 (Marutin No. 1)	2.00	0.35	70.2	20.0
	赤 達 摩 (Akadaruma)	1.00	0.29	85.3	29.4
	赤 坊 主 (Akabôzu)	1.70	0.36	80.2	22.2
	三 州 小 竹 (Misukotake)	1.73	0.37	81.5	22.0
	農 林 26 号 (Norin No. 26)	1.75	0.36	71.0	19.7

如くである。本表によると根の還元作用は種類によつても異なるが、裸麦では大分稈、一早生、白珍子、皮麦では大六角、竹林、小麦では埼玉27号、赤達摩等の還元力が盛んであつて、水耕液中に於ける亜硝酸の生成量が多い。これと反対に赤神力、コビンカタギ、岩手1号、気高六角、農林16号、丸珍、農林26号等の諸

品種は還元作用が著しく弱い。これらの事実から考えると、従来の試験成績或は栽培上の経験から一般に耐湿性が強いと云われていた諸品種は根の還元力が弱いようである。

最後に麦類と同様な方法によつて菜種の根の還元力に対する品種間差異を調べてみた。即ち10月1日に石英砂中に種子を播種し、10月20日水耕に移植して1ヶ月間培養し、其の期間中に於ける亜硝酸の生成状態

第6表 水耕液中に於ける硝酸塩の還元状態(菜種)
Reduction of nitrate in nutrient solution by rape

Varieties	Dry weight per plant(g)	Root dry weight per plant (g)	NO ₂ -N (mg)	NO ₂ -N/ 0.1g. Root weight (mg)
遠 州 (Enshū)	0.60	0.25	41.50	16.60
在 来 朝 鮮 (Zairaichosen)	0.62	0.20	45.81	22.50
北 海 道 (Hokkaido)	0.65	0.15	44.26	29.50
樺 太 (Karafuto)	0.69	0.19	57.35	30.28
早 生 朝 鮮 (Wasechosen)	0.40	0.18	54.65	30.36
中 生 朝 鮮 (Nakatechosen)	0.30	0.15	55.10	36.73
普 通 朝 鮮 (Futsūchosen)	0.31	0.16	56.25	35.15
水 原 種 (Suigen shu)	0.65	0.19	62.00	32.63
不 二 種 (Fujishu)	0.62	0.18	61.15	33.97
四 日 市 黒 種 (Yokkaichi-kurodane)	0.75	0.21	64.38	30.65
大 朝 鮮 (Ōchosen)	0.70	0.20	66.57	33.28
箒 種 早 生 (Hōkishuwase)	1.40	0.28	37.50	13.38
磯 部 在 来 (Isobezairai)	1.08	0.26	35.17	13.52
石 川 在 来 (Isikawazairai)	1.25	0.25	36.25	14.50

を調べた(第6表)。これによると、ナプスに属する品種が一般に根の還元力が強く、特に大朝鮮、四日市黒種不二種、水原種、普通朝鮮、中生朝鮮等の品種が硝酸塩を多く還元する。しかし同じナプスでも遠州や在来朝鮮等は根の還元作用が弱い。さらにキャンペストリスの箒種早生、磯部在来、石川在来等の品種は還元力が極めて弱く、亜硝酸の生成量も少い。これらの事実はナプスよりもキャンペストリスが一般に耐湿性強く、これと反対に耐旱性はナプスの方が強いと云われていることと思ひ合わせると興味深い事柄である。

IV 考 察

以上の実験成績によれば、作物根による養培液中の硝酸塩の生化学的還元状態は、種或は品種間で著しく異なる。即ち水稻、スズメノテツポウ、イヌビエ等では硝酸塩を亜硝酸に還元することは認められなかつたが、麦類、大豆、アズキ、トウモロコシ、ゴマ、ナタネ、棉等では根の還元作用が旺盛であつて、水耕液中に多量の亜硝酸を生成した。これと類似の事実は既に木村も認め、大麦では硝酸塩を窒素源とせる水耕液中に亜硝酸を生成したが、水稻では斯る還元作用の起らぬ事を報告している。⁴⁾ また鎌谷は水耕の結果、培養液中で硝酸の還元による亜硝酸の生成量の最も多いのはトウモロコシであつて、大豆、アズキこれに次ぎ、ヒエ、陸稻、水稻では亜硝酸の生成をほとんどみなかつたと述べている。³⁾ それから VLAMIS 及び DAVIS は水耕液中にメタンガスを通じ、水稻、大麦を栽培した場合、水耕液中の硝酸塩の有する酸素は有効に利用されないことを確めた。¹⁴⁾ これらの事から考えると、一般に畑作物の根は水耕液中の硝酸塩を亜硝酸に還元する作用をもつが、湿地にも生育する植物では還元作用は著しく弱い。

次に大豆、サツマイモ、麦類、菜種等では硝酸塩還元は品種間差異が認められた。即ち同一種内では一般に乾燥地に耐えうる品種が根の還元力が強く、水耕液中に於ける亜硝酸の生成量が大であつた。これと反対に耐湿性の強い品種は根の還元力が弱い。従つてこれまでの経験或は試験によつて耐旱性が強いと認められている品種は亜硝酸の生成量が大であるが、根の酸素要求度が少いか、或は耐湿性が強いと云われている品種は該生成量が著しく少い。また亜硝酸の生成は培養液中の酸素が不足してくると一層顕著になる。このように考察すると根の還元力と酸素の要求度とは密接な関係があり、酸素要求度の高い種或は品種に於て根の還元作用が強い。

しかし硝酸塩の還元は硝酸還元菌の働きによつても起ることが考えられるので、一部の実験では殺菌状態に保ち、精密な実験を繰り返したが、同様に植物根による硝酸の還元作用が認められた。従つてこのような硝酸塩の還元は根の生化学的還元によることが明かである。そこで根の硝酸還元作用の機構或はその酵素等が問題になり、一方では根の酸素要求度となぜ密接な関係があるかという問題も追究しなければならないが、これは次報に譲ることにする。

V 摘 要

1) 本実験は窒素源として硝酸塩を含む水耕液中に、水稻、大豆、大麦、小麦、トウモロコシ、サツマイモ、菜種その他の植物を栽培して、根部による硝酸塩の還元状態を水耕液中の亜硝酸の量を測定することによつて調べたものである。

2) サツマイモ以外の作物はその種子を石英砂中に播き、本葉 1~2 枚の幼植物を水耕した。サツマイモは蔓の先端を 15 cm の長さに切り、これを水耕に供試した。水耕の容器には 300 cc の三角フラスコを用い、これを黒色紙で覆い植物体は綿栓で固定した。水耕液は 3~4 日に 1 回更新し、その度毎に廃液につき亜硝酸を定量し、水耕期間（多くは 1 ヶ月）中に生成された亜硝酸の総量を求めた。

3) 水稻、ズズメノテツボウ、イヌビエ等では培養液中に亜硝酸の生成が認められなかつたが、大麦、小麦、大豆、トウモロコシ、菜種等では根の還元力が旺盛で水耕液中に多量の亜硝酸の生成が認められた。

4) 大豆、サツマイモ、大麦、小麦、菜種等では硝酸塩の還元状態が品種によつて著しい差異のあることが認められた。即ち同一種内では乾燥地に耐え得る品種の方が亜硝酸の生成量が大であつて、これと反対に耐湿性の強い品種は根の還元作用が弱く、亜硝酸の量も少なかつた。

5) 以上の事実から考えると、根の還元作用と酸素の要求度とは密接な関係があり、根の還元力の強い種或は品種程、土壌中の酸素の要求量も大のようである。

参 考 文 献

- 1) 福井 重郎：麦類の種類並に品種と適地 農及園 21 : 377, 1946
- 2) ————：大豆の品種 農学 3 : 14, 1947
- 3) 鎌谷栄次, 野本亀雄：畑作物の根の伸長に関する一試験成績 農及園 20 : 463, 1945
- 4) 木村 二郎：水耕上に於ける水稻の栄養的特性、特に大麦との比較に就て(続報) 農林省農試彙報 II (1) : 1, 1932
- 5) 三浦肆次樓：停滞水地に於ける肥料種類の水稻生育に及ぼす影響に関する研究(続々報) 日作紀 12 : 339, 1941
- 6) ————, 伊藤信吾：水稻の塩類還元作用に就て 日作紀 14 : 236, 1943
- 7) NIGHTINGALE, G. I. : The nitrogen nutrition of green plants. Bot. Rev. 3 : 85, 1937
- 8) 農林省農業改良局研究部：いも類統制撤廃策技術資料(甘藷) 1950
- 9) 小河原進：菜種品種の湿害程度の差異及び湿害と品種の二、三特性との関係 育種研究 第2輯 163 1943
- 10) 小野田正利：さつまいもの新品種 農民叢書 第13号 1947
- 11) SIDERIS, C. P., KRAUSS, B. H., and YOUNG, H. Y. : Assimilation of ammonium and nitrate nitrogen from solution cultures by the roots of *Pandanus veitchii* HORT. and distribution of various nitrogenous fractions and sugars in the stele and cortex. Plant Physiol. 12 : 899, 1937
- 12) ————, ————, ———— : Assimilation of ammonium and nitrate by pine apple plants grown in nutrient solutions and its effects on nitrogenous and carbohydrate constituents. Plant Physiol. 13 : 489, 1949
- 13) 戸辺義次：開墾地の作物 最近の農業技術 103, 1949
- 14) VLAMIS, I., and DAVIS, A. R. : Effects of oxygen tension on certain physiological responses of rice, barley and tomato. Plant Physiol. 19 : 33, 1944
- 15) 山田登：麦類の発芽種子及び幼苗に於ける呼吸作用の強さについて 最近の農業技術 79 頁 1949

Summary

It has already been reported that oxygen requirement of crop roots in the soil varied with the difference of crops or varieties. The author found a close relation between reducing power and oxygen requirement of roots during the water-culture of various plants, and then cultured young plants in a solution containing nitrate as nitrogen source (cf. table I) and investigated the amount of nitrous acid formed in the solution.

Soybean (12 varieties), barley (14 varieties), wheat (7 varieties), sweet potato (12 varieties), rape (14 varieties), other two or three crops and weeds were employed in this experiments. All these plants excluding sweet potato were sown in the quartz sands until they bears one or two leaves, then the seedlings were water-cultured in the 300 cc flasks covered by blackpapers, and the plants were supported with cotton stoppers. On sweet potato, the top of vine was cut in 15 cm and then water-cultured. The solution was changed every 3-4 days and nitrous acid in the residual solution was measured, and the total amount of nitrous acid formed during the term of water-culture (generally one month) was calculated.

The results of the experiments are as follows :

Nitrous acid was not formed in the culture solutions of paddy rice, *Alopecurus aequalis*, and *Beckmannia erucaeformis*, but it was found in those of barley, wheat, soybean, corn and rape having strong reducing power in their roots (cf. table 2).

Considering from these facts upland plants generally have the strong reducing power of nitrate in the culture solution, but marsh plants have the very weak reducing power.

Further the varietal difference of nitrate reducing power was investigated with soybean, sweet potato, barley, wheat and rape, and the following results were obtained (cf. table 3-6):

Drought-resistant varieties form more nitrous acid than drought-susceptible varieties in the same species, but dump-resistant varieties form less nitrous acid on the contrary, i. e., have less reducing power, than the susceptible varieties.

According to the results, it may certainly be concluded that the reducing power is closely correlated with oxygen requirement in roots, i. e., species or varieties having the stronger reducing power in their roots require more oxygen in the soil.