土壤空气中の酸素濃度がブドウデラウェア の生育ならびに養分吸収に及ぼす影響

— 施用窒素形態との関係について —

岩 崎 一 男

(愛媛大学農学部)

K. IWASAKI : Growth and nutrient absorption of Delaware grapes as
affected by soil oxygen concentrations and nitrogen sources

Summary

1. Vine growth, nutrient absorption and respiratory activity of fibrous roots as affected by both different nitrogen sources and controlled soil atmosphere were observed with two-year-old, non bearing Delaware grapes. Oxygen concentration in the soil atmosphere was controlled at six levels of 20 (air alone), 15, 10, 5, 2 and 0 (nitrogen gas alone) per cent respectively by mixing air with nitrogen gas. Sodium nitrate ($\text{NO}_3\text{-N}$) and ammonium sulfate ($\text{NH}_4\text{-N}$) were employed as nitrogen source and their effects on growth were compared in relation to the soil oxygen level.

2. Regardless of the soil oxygen concentration, average shoot length and total fresh weight of vines were always superior in the $\text{NH}_4\text{-N}$ than in the $\text{NO}_3\text{-N}$ treatment. The growth rate, however, was more depressed in the former than in the latter as the soil oxygen level decreased.

3. The total N concentration of leaves in the $\text{NO}_3\text{-N}$ treatment was nearly the same throughout

the different soil oxygen levels, while that in the $\text{NH}_4\text{-N}$ treatment was lowered markedly as the soil oxygen level decreased less than 2 per cent. The P, K and Mg concentrations of leaves were depressed in the both treatments with decreasing soil oxygen level, though the trend with P and K was rather slight.

4. Respiratory activity of fibrous roots was measured with a Warburg's manometer by soaking them in 0.1 M solution of either sodium nitrate or ammonium sulfate. In general, the respiration rate was higher in the $\text{NO}_3\text{-N}$ than in the $\text{NH}_4\text{-N}$ treatment. When the oxygen concentration in the respiration chamber was changed from 20 to 0 per cent, the oxygen uptake and carbon dioxide evolution declined noticeably in both treatments. Particularly, the tendency was more marked in the $\text{NH}_4\text{-N}$ treatment, showing the higher R.Q. value than in the $\text{NO}_3\text{-N}$ treatment.

I. 緒 言

筆者およびその共同実験者はこれまで、土壤空气中の酸素濃度がブドウデラウェアの樹体生長ならびに養分吸収⁽²⁾、および花粉発芽、結実ならびに果実の肥大・成熟・品質⁽³⁾などに及ぼす影響について報告してきた。今回は施用窒素の形態が異なつた場合に、土壤空气中の酸素濃度がブドウデラウェアの樹体生長ならびに養分吸収に及ぼす影響について報告する。

II. 材料および方法

1964年1月中旬に、ブドウデラウェアの2年生未結実樹を、1/2000aのワグナーポットに1本ずつ植え、これを実験に供した。窒素肥料の種類は、硝酸態窒素(以下 $\text{NO}_3\text{-N}$ とする)として硝酸ソーダ、アンモニア態窒素(以下 $\text{NH}_4\text{-N}$)として硫酸を用い、両区ともに

1965年3月18日受理

要素量にして N : 1g, P_2O_5 (過石) : 0.5g, K_2O (塩加) : 0.5g, CaO (消石灰) : 8g および MgO (硫苦) : 0.5g を1月下旬に施用した。

通気装置は前報(2)と同じで、通気酸素濃度は20% (空気), 15%, 10%, 5%, 2% および 0% (窒素ガス) とし、4月24日より8月10日まで通気処理をした。通気量は1日1鉢当たり 5l とし、これを4時間にわたつて通気した。

処理個体は8月11日にいつせいに掘りあげ、解体調査するとともに、根の活力をみるために、ワールブルグ検圧計を用いて細根の呼吸量を測定した。さらに、養分吸収量を知るために、同時に葉分析ならびに土壤分析を行なつた。葉分析法は、N : Semimicro-Kjeldahl 法, P : モリブデン酸アンモン法, K, Ca, Mg および Na : 原子吸光分光分析法により、土壤分析法は 硝酸態窒素

: A. O. A. C. 法により浸出した後フェノール硫酸法, アンモニア態窒素: Harpar 法で浸出後 Kjeldahl 法, P: Truog 法で浸出後モリブデン酸アンモン法, K, Ca, Mg および Na: 酢酸アンモニウムで浸出後原子吸光分光分析法を用いた。

別に、窒素形態の相違が根の呼吸に及ぼす影響をみるために、無処理の2年生苗木から白色新根を採り、先端5mmを切り除き、その上部1cmの部分を用いて呼吸を測定した。すなわち、ワールブルグ検圧計のガラス容器の主室に、0.1Mの硝酸ソーダまたは硫酸アンモニウム溶液1mlを入れ、副室に炭酸ガス吸収剤として20% KOH 溶液0.3mlを入れておき、前記の根を主室に入れた後容器をマノメーターに装着し、あらかじめ調整しておいた各酸素濃度の空気(20, 15, 10, 5, 2および

第1表 土壤空气中の酸素濃度ならびに施用窒素形態の相違がデラウェアの樹体生長に及ぼす影響

	新梢伸長量	全生体重	地上部重	地下部重
	cm	g	g	g
硫 安 区				
20% O ₂	173(100)	583(100)	295(100)	288(100)
15	177(102)	515(88)	314(106)	201(70)
10	178(103)	482(83)	275(93)	207(72)
5	166(96)	450(77)	270(92)	180(62)
2	143(83)	338(58)	190(65)	148(51)
0	131(76)	307(53)	173(59)	134(47)
硝酸ソーダ区				
20% O ₂	149(100)	462(100)	210(100)	252(100)
15	189(127)	449(97)	240(114)	209(83)
10	143(96)	356(77)	196(93)	160(68)
5	128(86)	323(70)	174(83)	150(60)
2	129(87)	311(67)	172(82)	139(55)
0	132(89)	320(69)	190(90)	130(52)

第2表 土壤空气中の酸素濃度ならびに施用窒素形態の相違がデラウェアの養分吸収に及ぼす影響

	N	P	K	Ca	Mg
	%	%	%	%	%
硫 安 区					
20% O ₂	1.05(100)	0.24(100)	1.33(100)	1.50(100)	0.26(100)
15	1.10(105)	0.21(88)	1.18(89)	1.35(90)	0.25(96)
10	1.24(118)	0.21(88)	1.27(95)	1.75(117)	0.25(96)
5	1.20(114)	0.16(67)	0.83(62)	2.00(133)	0.22(85)
2	0.68(82)	0.14(58)	0.66(50)	1.15(77)	0.20(77)
0	0.89(85)	0.14(58)	0.63(47)	1.50(100)	0.18(69)
硝酸ソーダ区					
20% O ₂	1.35(100)	0.24(100)	1.28(100)	1.90(100)	0.29(100)
15	1.44(107)	0.23(96)	1.13(88)	1.60(84)	0.29(100)
10	1.50(111)	0.23(96)	1.02(80)	1.85(97)	0.24(84)
5	1.25(93)	0.18(75)	0.83(65)	1.90(100)	0.22(76)
2	1.31(97)	0.15(63)	0.78(61)	1.45(76)	0.21(72)
0	1.29(97)	0.14(58)	0.73(57)	1.60(84)	0.17(59)

対乾物重 %

0%)を減圧法によつて容器中の空気と入れ換えた。その後、常法によつて呼吸量を測定し、呼吸商を算出した。

III. 実験結果

1. 樹体生長

解体時における樹体生長量は第1表に示すとおりである。新梢伸長量、全生体重ともに等しい酸素濃度で比べると NO₃-N に比べて NH₄-N 区でまさつたが、低酸素濃度においては、両区はほとんど変わらない値を示した。すなわち、O₂ 20% を 100 とした比数でみると、NH₄-N 区の新梢伸長は 100, 102, 103, 96, 83 および 76 であるのに対して NO₃-N では 100, 127, 96, 86, 87 および 89 であり、また、全生体重では NH₄-N 区の 100, 88, 83, 77, 58 および 53 に対して、NO₃-N 区では 100, 97, 77, 70, 67 および 69 であり、新梢伸長量、全生体重ともに NH₄-N 区は O₂ 2% 以下で減少の程度が大であつた。地上部生体重および地下部生体重ともに同様な傾向がみられたが、とくに、地上部生体重においてこの傾向は著しかつた。

2. 養分含量

解体時における葉内5要素含量は第2表に示すとおりである。すなわち、全窒素は一般に NO₃-N 区で高い値を示し、O₂ 20% から 0% までほとんど変わらなかつたが、NH₄-N 区では O₂ 2% および 0% で著しく低い値を示した。P は NH₄-N 区と NO₃-N 区の間に大きな差はみられなかつたが、酸素濃度の低下に伴う含量の減少程度は NH₄-N 区がわずかに大であつた。K は O₂ 20% から 10% までは NH₄-N 区の含量が大で、減少の程度も小さかつたが、O₂ 5% から 0% の低酸素濃度では NO₃-N 区の含量が高く、減少の程度も小であつた。Ca は両区とも明らかな傾向を示さなかつた。Mg は NO₃-N 区の減少程度が大であつた。

土壤中のアンモニア態窒素ならびに硝酸態窒素の含量は第3表に示すとおりである。すなわち、両区とも酸素濃度の低下に伴つて、アンモニア態窒素および硝酸態窒素のいずれの含量も増加した。O₂ 20% を 100 とした比数でみると、アンモニア態窒素および硝酸態窒素含量のいずれも NH₄-N 区の増加率が大きであつた。アンモニア態窒素と硝酸態窒素の合計量で比べると、各酸素濃度において、含量ならびに増加率ともに NH₄-N 区が大であつた。葉内および土壤中の Na 含量は第4表に示すとおりである。葉内含量は両区とも酸素濃度

第3表 土壤中の窒素含量 (mg/100 g 乾土)

	NH ₄ -N	NO ₃ -N	計
硫安区 (NH ₄ -N 区)	mg	mg	mg
20% O ₂	4.10(100)	0.37(100)	4.47(100)
15	5.00(122)	0.39(105)	5.37(121)
10	6.80(166)	0.40(108)	7.20(161)
5	7.00(171)	0.40(108)	7.40(166)
2	7.00(171)	0.50(135)	7.50(168)
0	8.80(215)	0.53(143)	9.33(209)
硝酸ソーダ区 (NO ₃ -N 区)			
20% O ₂	2.80(100)	1.16(100)	3.96(100)
15	2.80(100)	1.16(100)	3.96(100)
10	4.20(153)	1.06(91)	5.26(133)
5	4.00(143)	1.32(114)	5.32(134)
2	4.00(143)	1.18(102)	5.18(131)
0	4.00(143)	1.47(127)	5.47(138)

第4表 土壤空气中の酸素濃度ならびに施用窒素形態の相違がデラウェアの葉内ならびに土壤中のNa含量に及ぼす影響

	葉*		土 壤**	
	硫安区	硝酸ソーダ区	硫安区	硝酸ソーダ区
	ppm	ppm	ppm	ppm
20% O ₂	140(100)	160(100)	90(100)	85(100)
15	160(114)	150(94)	87(97)	78(92)
10	180(129)	190(119)	63(70)	74(87)
5	200(143)	200(125)	59(66)	74(87)
2	230(164)	240(150)	52(58)	71(84)
0	290(207)	270(169)	50(56)	72(85)

* 対乾物 ppm ** 対乾土 ppm

の低下に伴なつて増加し、その程度は NH₄-N 区で大であつたが、各酸素濃度における含量には大きな差はみられなかつた。土壤中の Na 含量は葉内含量とは逆に、酸素濃度の低下に伴なつて減少し、その減少程度は NH₄-N 区が大であつた。

3. 根の呼吸

i. 通気処理樹の根 解体直前に各酸素濃度から白色新根を採り、呼吸量を測定した値は第5表のとおりである。すなわち、NH₄-N 区および NO₃-N 区ともに酸素濃度の低下に伴なつて、単位時間当たりの酸素吸収量は減少したが、その減少の程度は NH₄-N 区が大であつた。なお、いずれの酸素濃度区においても、NO₃-N 区の酸素吸収量は NH₄-N 区よりも大であつた。

ii. ワールブルグ検圧計容器中の酸素濃度を変えた場合 検圧計容器の主室に 0.1 M の硫酸アンモニウムまたは硝酸ソーダ溶液を入れて、同じブドウ樹からとつた白色新根の呼吸量を測定し、蒸留水の場合と比べた結果は第6表に示すとおりであり、さらに、そのおのおの場合において容器中の酸素濃度を変えた場合の結果は

第5表 土壤空气中の酸素濃度ならびに施用窒素形態の相違がデラウェアの細根の呼吸に及ぼす影響

	硫 安 区	硝酸ソーダ区
	μl	μl
20% O ₂	20.0(100)	21.9(100)
15	14.4(72)	20.9(95)
10	15.9(80)	18.6(85)
5	11.9(60)	18.0(82)
2	11.4(57)	17.3(79)
0	12.3(62)	14.2(65)

1. 60 分間の O₂ 吸収量 2. 細根量 100 mg に換算

第6表 窒素形態の相違がデラウェアの細根の呼吸に及ぼす影響

	O ₂	CO ₂	R. Q.
	μl	μl	
蒸 留 水	21.5(100)	23.0(100)	1.07(100)
硫酸アンモニウム	23.7(110)	25.2(110)	1.06(99)
硝 酸 ソ ー ダ	25.3(116)	26.7(116)	1.06(99)

1. 硫安、硝酸ソーダの濃度：0.1 M

2. 60 分間の呼吸量 3. 細根 100mg に換算

第7表 酸素濃度ならびに窒素形態の相違がデラウェアの細根の呼吸に及ぼす影響

	O ₂	CO ₂	R. Q.
	μl	μl	
0.1 M 硫酸アンモニウム			
20% O ₂	19.9(100)	20.5(100)	1.03(100)
15	16.4(82)	17.1(83)	1.04(101)
10	15.2(76)	17.2(84)	1.13(110)
5	11.2(56)	14.6(71)	1.30(126)
2	7.7(39)	10.6(52)	1.38(133)
0	5.6(28)	8.8(43)	1.57(153)
0.1 M 硝酸ソーダ			
20% O ₂	22.8(100)	23.8(100)	1.04(100)
15	22.4(98)	23.0(97)	1.03(99)
10	21.7(95)	22.4(94)	1.03(99)
5	17.3(76)	20.0(84)	1.16(112)
2	16.7(73)	19.7(83)	1.18(113)
0	10.6(46)	15.0(63)	1.42(137)

1. 60 分間の呼吸量 2. 細根 100mg に換算

第7表に示すとおりである。

窒素形態だけの影響をみた場合 (第6表)、酸素吸収量および炭酸ガス呼出量はいずれも硝酸ソーダ区が最も大きく、ついで硫酸アンモニウム区、蒸留水区の順であつた。しかし、呼吸商はいずれもほとんど変わらない値を示した。

つぎに、窒素形態と酸素濃度を変えた場合 (第7表)、酸素濃度のいかにかわらず、酸素吸収量および炭酸ガス呼出量ともに硝酸ソーダ区が大であり、とくに、O₂ 2% および 0% では2倍前後の値を示した。酸素濃度の低下に伴なう呼吸量の減少度は、酸素吸収量、炭酸

ガス呼出量ともに硫酸アンモニウム区が大であつた。呼吸商は両区ともに酸素濃度の低下に伴なつて増加し、その程度は硫酸アンモニウム区において大であつた。

IV. 考察

土壤空気中の酸素濃度と施用窒素形態との関係については、1年生作物で若干報告されているが、果樹における報告はいまだみあたらない。一般に、土壤空気中の酸素濃度が低下すると、アンモニア態窒素施用区では植物の生育が低下するが、硝酸態窒素施用区では前者ほど劣らない。これは、硝酸態窒素は分子中に酸素を有しているため、窒素の同化の際に還元され、このとき放出する酸素を利用するためであるといわれている⁽⁶⁾。

本実験においては、新梢伸長量、全生体重のいずれもが、一般に $\text{NH}_4\text{-N}$ 区ですぐれたが、酸素濃度の低い場合にはほとんど変わらないか、または、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 区ですぐれた。とくに、 O_2 20% に対する比数でみるとこの傾向が著しかった。

このことは養分吸収にも関係し、K は、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 区での O_2 5% から 0% の間で著しく吸収が抑制されたが、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 区ではその傾向が比較的緩やかであつた。

樹体生長が全般に $\text{NH}_4\text{-N}$ 区ですぐれたのは、土壤中に硝酸態窒素が流亡しやすいことも一つの原因であるが、さらに土壤 pH にも関係していると思われる。すなわち、広保 (1961)⁽¹⁾ がブドウデラウェアにつき指摘したように $\text{NH}_4\text{-N}$ は pH 6~8 の範囲で生長がすぐれ、 $\text{NO}_3\text{-N}$ では pH 4~5 の酸性側ですぐれた。

本実験においても、その点を考慮し、定植前に土壤 pH が 5~6 の範囲になるように調整したが、実験期間中の平均 pH は 6~7 の範囲にあつたため、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 区の生長量がすぐれたのではないかと考えられる。

さらに、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 区では硝酸ソーダ中に含まれる Na が生理的に悪影響を及ぼすことが考えられるが、葉内および土壤中の Na 含量は両区間にほとんど差がみられず、直接的な影響はないものと考えられる。なお、葉内の Na 含量と K 含量は拮抗的な関係を示しているが、これは K 吸収の低下を補うために Na が多く吸収されたのか⁽⁷⁾、逆に、酸素濃度の低下に伴なつて Na の吸収が多くなり⁽⁴⁾、その結果、K の吸収が抑えられたのかは、本実験の範囲からでは説明できない。

根の呼吸に及ぼす窒素形態の影響を直接みた結果では、わずかではあるが、 $\text{NO}_3\text{-N} > \text{NH}_4\text{-N}$ の関係にあり、とくに酸素濃度が低下した場合にその傾向は強くなつた。また、根の R.Q. を比べると、一般に前者のほうが大であり、さらに酸素濃度の低下に伴なう増加の程度も前者が大で、とくに O_2 10% 以下では著しく大となつ

た。TAYLOR (1942)⁽⁵⁾ も述べているように、体内物質を消耗して無気呼吸を行なっているものと想像される。

V. 摘要

1. 1/2,000 a ワグナーポットに植えたブドウデラウェアの2年生未結実樹に、窒素源として硫酸 ($\text{NH}_4\text{-N}$) および硝酸ソーダ ($\text{NO}_3\text{-N}$) を施用し、酸素濃度を 20 (空気), 15, 10, 5, 2 および 0% (窒素ガス) に調整通気し、樹体生長および養分吸収に及ぼす影響を調査した。

2. 新梢伸長量および生体重はともに $\text{NH}_4\text{-N}$ 区でまさつたが、 O_2 20% に対する比数でみると、総じて $\text{NH}_4\text{-N}$ 区の減少率が大であつた。とくに、 O_2 2% および 0% でこの傾向が著しかった。

3. 葉内 N 含量は $\text{NH}_4\text{-N}$ 区の O_2 2% および 0% で急激に低下したのに対し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 区ではほとんど変化しなかつた。また P および K も $\text{NO}_3\text{-N}$ 区では減少率が小さかつた。

4. 両窒素区の細根の呼吸量を、ワールブルグ検圧計を用いて酸素消費量からみると $\text{NO}_3\text{-N}$ 区でわずかに大であり、酸素濃度の低下に伴なう減少の程度は $\text{NH}_4\text{-N}$ 区で大であつた。

5. ワールブルグ検圧計のガラス容器内の酸素濃度を種々の程度に変え、さらに主室に 0.1 M の硫酸アンモニウム溶液および硝酸ソーダを加えて、細根の呼吸に及ぼす影響を調査した。その結果、各酸素濃度とも、硝酸ソーダ区の酸素吸収量ならびに炭酸ガス呼出量が大であつた。また、酸素濃度の低下に伴なつて、両区ともに酸素吸収量および炭酸ガス呼出量は減少し、その程度は硫酸アンモニウム区で大であつた。呼吸商は酸素濃度の低下に伴なつて増大し、その程度は $\text{NH}_4\text{-N}$ 区で大であつた。

本実験を行なうに当たり、京大小林章教授に終始御懇切な御指導を賜わり、細井寅三助教授より種々御便宜を与えられた。また本稿の取纏めに際して、本学倉岡唯行教授、松本和夫教授より種々御助言をいただいた。ここに記して深謝の意を表する。

文 献

1. 広保 正. 1961. 園学雑. 30(4): 357~360.
2. KOBAYASHI, A., K. IWASAKI and Y. SATO. 1963. Jour. Jap. Soc. Hort. Sci. 32(3): 181~185.
3. ——— and T. TERANUMA. 1964. Jour. Jap. Soc. Hort. Sci. 33(4): 265~272.
4. LABANAUSKAS, C. K., L. H. STOLZY, L. J. KLOTZ and T. A. DEWOLFE. 1964. Calif. Agri. 13~14.
5. TAYLOR, D. L. 1942. Amer. Jour. Bot. 29: 721~738.
6. 戸川義次・山田 登・林 武編. 1960. 作物生理講座(2), 栄養生理編. 朝倉書店 (東京).
7. WEHUNT, R. L., M. STELLY and W. O. COLLINS. 1957. Soil Sci. 83: 175~183.