

窒素の施用形態の相違がカンキツ葉の 光合成速度に及ぼす影響

天 野 勝 司・門 屋 一 臣
渡 部 潤一郎・秋 好 広 明

Effect of Nitrogen Form and Its Applied Amount on the Rate of Photosynthesis of Citrus Leaves

Shoji AMANO, Kazuomi KADOYA
Junichiro WATANABE and Hiroaki AKIYOSHI

緒 言

果樹栽培において、窒素の施用形態や施肥量が、樹体の生長、果実の発育、収量、品質などに及ぼす影響についての報告は、これまで数多くなされている。^{1,2,3,8,14)} 経済栽培園のウンシュウミカンについては、年間10 a 当り25kgの施肥量が一応の基準となっている。窒素を多量に施用すると、土壌中の溶液濃度が高まり、甚だしい場合には、根を枯死させたり異常落葉の原因となる⁷⁾。この地下部のストレスと光合成作用との関係は、まだ、十分に研究されていない。そこで、我々は窒素の形態や施肥量の差異がカンキツ樹の光合成に及ぼす影響を調査し、二三の知見を得たのでここに報告する。

材料及び方法

1. 土耕における興津早生の光合成速度

1982年の4月上旬に、カラタチ台の1年生興津早生を、直径30cmの素焼鉢に、有機質に富んだ花崗岩土壌を用いて定植し、温室内で栽培供試した。

4月25日に、一鉢当り50gの鶏ふん(N-3.7, P-1.1, K-2.1, Ca-5.1, Mg-0.9%)を施用した。また、10 a 当りの窒素量に換算して、硫安、硝酸カルシウム、尿素を、それぞれ、10kg、25kg、50kgづつ、5月30日、6月30日、7月31日、8月30日、9月30日、10月30日の6回に分けて施用し、無施用区を対照区とした。各処理区は2本とし、かん水量は1日1ℓとした。また、6月30日以後に発生した芽は全部除いた。

光合成速度の測定は、天野、日野ら⁴⁾の方法で、通気量 $3 \ell / \text{dm}^2 / \text{min}$ 、照度 45K lux 、葉温 23°C 、相対湿度 $85 \sim 95\%$ とし、7月13日、8月18日、10月2日、11月4日に春葉を用いて行なった。

2. 砂耕における興津早生の光合成速度

1982年7月中旬に、カラタチ台の1年生興津早生を直径 30cm の素焼鉢に、川砂を用いて定植し、温室内で栽培を行なった。かん水をかねて、1日 1ℓ のホーグランド溶液をかん注した。なお、定植後に発生した芽は全部除いた。

9月22日に実験1の方法で光合成速度を測定した後窒素処理を開始した。処理区は硫安の窒素 1000ppm 区と 2000ppm 区、硝酸カルシウムの窒素 2000ppm 区と 4000ppm 区を設け各処理区1本とした。光合成速度が著しく低下するまでこれらの窒素溶液を毎日 2ℓ づつかん注し、光合成速度の低下を見たものは処理を中止し、ホーグランド溶液のかん注のみを行い光合成速度の回復状態を観察した。光合成速度のあまり低下しなかった処理区は、処理開始後28日から31日目で窒素の施用を中止した。

3. 5要素の分析

1983年1月7日に供試したすべてのカンキツ樹を素焼鉢から抜き取り、水洗した後、各器官に分けて解体し5要素を分析した。窒素は、三菱デジタル・ケルダール分析装置 KN-01 型を用いて測定した。リンは、光電光度計によるモリブデン青比色法、カリウム、カルシウム、マグネシウムは、原子吸光分光分析法で測定した。

4. 土壌の分析

1983年1月7日に、土耕栽培の実験区から土壌を採取し、土壌の窒素濃度、pH、ECを測定した。窒素濃度は Bremner の方法⁵⁾で、pHは Hitachi Horiba・pH meter M-7を用い、ECは Toa Conductivity meter Model CM20を用いて測定した。

結 果

1. 土耕における興津早生の光合成速度

土耕における対照区の時期別光合成速度を表-1に示し、施用する窒素量と形態の相違が光合成速度に及ぼす影響を図-1に示した。

表-1 土耕興津早生の対照区における時期別光合成速度

月・日	7/13	8/18	10/2	11/4
光合成速度($\text{mg}/\text{dm}^2/\text{hr}$)	9.69	9.20	8.91	9.86

窒素処理が光合成速度に及ぼす影響は、窒素 10kg 区ではほとんど見られなかった。これに対し 25kg 区では、処理開始後約120日目の10月2日には、硫安区では対照区の約 75% 、硝酸カルシウム及び尿素区では約 55% までに光合成速度が低下した。 50kg 区においては、光合成速度の低下はより急激であ

り、11月4日には硫酸と尿素区は対照区の約45%、硝酸カルシウム区は約15%にまで低下した。すなわち、花崗岩土壌では10a当り窒素25kg施用区で光合成は抑えられた。また、アンモニア態窒素施用区の方が硝酸態窒素施用区よりも光合成速度に及ぼす高濃度窒素の影響が出にくい傾向にあった。

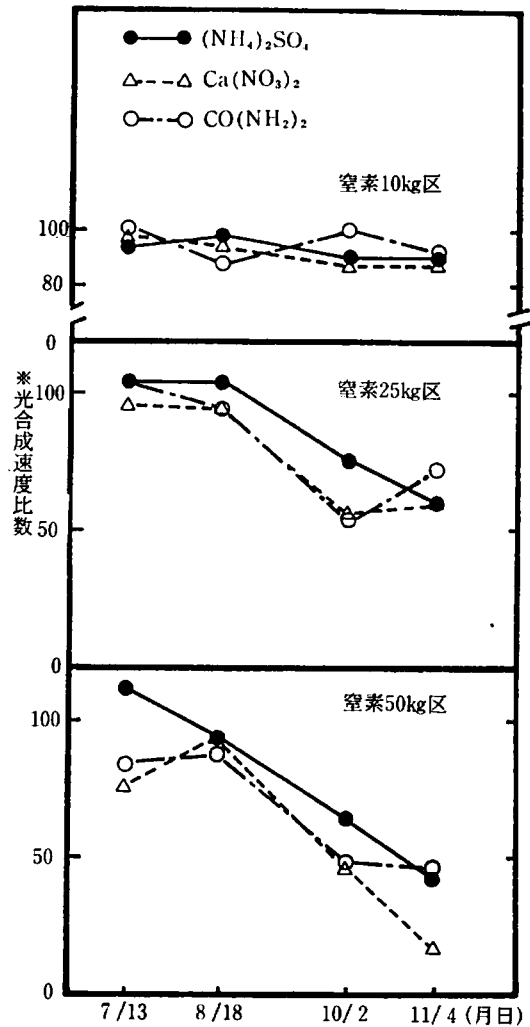


図-1 施用する窒素の量と形態の相違が興津早生の光合成速度に及ぼす影響
 ※ 対照区の光合成速度を100とする

2. 砂耕における興津早生の光合成速度

窒素処理前の各処理区の光合成速度を表-2に示した。これに対する窒素処理開始後の光合成速度

表-2 砂耕興津早生における窒素処理前の光合成速度(9月22日)

窒素処理区	光合成速度(mg/dm ² /hr)
NH ₄ -N1000ppm	9.86
NH ₄ -N2000	10.13
NO ₃ -N2000	9.12
NO ₃ -N4000	10.13

の変化を図-2に示した。アンモニア態窒素2000ppm処理区では、処理開始後4日目頃から影響が始め、7日目には処理前の約35%にまで光合成速度が低下した。そこで処理を中止すると3日間ほどで回復を見た。これに対し硝酸態窒素4000ppm処理区では、処理による影響の現われ方がアンモニア態窒素2000ppm区より緩慢であった。アンモニア態窒素1000ppm区と硝酸態窒素2000ppm区では、著しい光合成速度の低下は見られなかった。すなわち、砂耕の場合には、アンモニア態窒素区の方が硝酸態窒素区におけるよりも光合成速度がより著しく抑えられた。

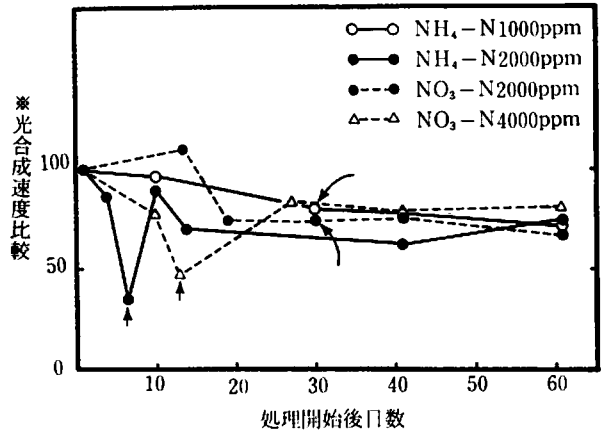


図-2 処理する窒素の形態と濃度の相違が興津早生の光合成速度に及ぼす影響
 ※ 窒素処理前の光合成速度を100とする
 ←…窒素処理中止

3. 5 要素の分析

土耕における興津早生の各器官の5要素含有率は、表-3、4に示すとおりである。各器官の窒素含有率は、対照区に比べてどの窒素処理区においても、かなり大きな値を示し、それぞれ施用量の多い処理区ほど含有率が高い。また、窒素施用形態の相違別に見ると器官によって変動はあるもの一般に硫酸、尿素、硝酸カルシウムの順に高い傾向にあった。器官別では、対照区と比較して特に根における含有率の高まりが著しい。

表-3 窒素の施用量と形態の相違が土耕興津早生の葉における5要素含有率に及ぼす影響

処理区	含有率%					
	窒素	リン	カリウム	カルシウム	マグネシウム	
対照区	2.61	0.16	0.58	2.59	0.52	
$(NH_4)_2SO_4$	10kg区	3.22	0.15	0.61	3.09	0.56
	25kg区	3.52	0.15	0.71	3.33	0.63
	50kg区	3.76	0.15	0.78	2.53	0.66
$Ca(NO_3)_2$	10kg区	3.09	0.17	0.58	3.81	0.66
	25kg区	3.10	0.14	0.60	4.22	0.62
	50kg区	3.32	0.12	0.58	4.71	0.62
$CO(NH_2)_2$	10kg区	3.25	0.19	0.61	3.46	0.55
	25kg区	3.39	0.17	0.64	3.45	0.60
	50kg区	3.63	0.17	0.73	3.38	0.64

表一 4 窒素の施用量と形態の相違が土耕興津早生の根における 5 要素含有率に及ぼす影響

処理区	含有率%					
	窒素	リン	カリウム	カルシウム	マグネシウム	
対照区	1.60	0.14	1.23	0.53	0.67	
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	10kg区	3.19	0.15	0.77	0.71	0.60
	25kg区	4.06	0.15	0.54	0.64	0.45
	50kg区	4.95	0.14	0.35	0.51	0.32
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	10kg区	2.91	0.14	0.58	1.03	0.60
	25kg区	3.61	0.13	0.56	1.56	0.56
	50kg区	3.57	0.13	0.59	1.85	0.48
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	10kg区	3.33	0.18	0.85	0.60	0.64
	25kg区	3.56	0.15	0.56	0.76	0.61
	50kg区	4.17	0.13	0.36	0.88	0.39

各器官のリン含有率は、対照区に比べて尿素区が高い値を示したが、施用量が多い区ほど葉よりも根において含有率が低くなる傾向にあった。

各器官のカリウム含有率は、葉において対照区に比べて硫酸、尿素区が高く硝酸カルシウム区はほぼ同様であった。根における含有率は、いずれの区も対照区よりも低い値を示した。

各器官のカルシウム含有率は、いずれの区も対照区よりも高い値を示したが、特に硝酸カルシウム区において高い値を示した。

各器官のマグネシウム含有率は、葉においてはいずれの区も対照区よりも高い傾向であったが逆に根においては、対照区より低い値を示し施用量の多い区ほど含有率は低くなった。

砂耕における興津早生の各器官の 5 要素含有率は表一 5、6 に示すとおりである。

表一 5 窒素の処理濃度と形態の相違が砂耕興津早生の葉における 5 要素含有率に及ぼす影響

処理区	含有率%				
	窒素	リン	カリウム	カルシウム	マグネシウム
$\text{NH}_4\text{-N}1000\text{ppm}$	3.19	0.11	0.80	2.29	0.62
$\text{NH}_4\text{-N}2000$	2.50	0.11	1.19	2.06	0.61
$\text{NO}_3\text{-N}2000$	3.00	0.12	1.39	3.07	0.51
$\text{NO}_3\text{-N}4000$	2.86	0.13	1.65	2.51	0.58

表一六 窒素の処理濃度と形態の相違が砂耕興津早生の根における5要素含有率に及ぼす影響

処理区	含有率%				
	窒素	リン	カリウム	カルシウム	マグネシウム
NH ₄ -N1000ppm	2.16	0.10	0.36	0.63	0.16
NH ₄ -N2000	1.71	0.13	0.55	0.52	0.25
NO ₃ -N2000	3.48	0.13	0.88	1.72	0.29
NO ₃ -N4000	3.19	0.17	1.08	1.66	0.35

各器官の窒素含有率は、いずれの処理区においても処理濃度の高い区の方が低い傾向にあった。また、硝酸態窒素施用区の葉と根の窒素含有率はアンモニア態窒素施用区のそれよりも高い値を示した。

各器官のリン含有率は、硝酸態窒素4000ppm区の根において高い傾向にあった。

各器官のカリウム含有率は、いずれの処理区とも窒素処理濃度の高い区の方が高かった。また、硝酸態窒素区の方がアンモニア態窒素区よりも高い値を示した。

各器官のカルシウム含有率は、硝酸態窒素区の方がアンモニア態窒素区よりも高くなった。

各器官のマグネシウム含有率は、葉においてアンモニア態窒素区の方が高い傾向にあったが、根においては逆に硝酸態窒素区の方が高い傾向にあった。

4. 土壌の分析

土壌中の窒素濃度及びEC並びにpHについては図-3のとおりである。硫安の施用により、土壌のpHは著しく低下した。一方、硝酸カルシウムの施用は、ややpHを上昇させ、尿素の施用は、ややpHを低下させる傾向であった。

窒素濃度は、硫安区が最も高く次いで尿素区、硝酸カルシウム区の順であった。硝酸態窒素区の方が窒素の溶脱が激しくなっており計算によると硝酸カルシウム区で約50%、尿素区で約45%、硫安区で

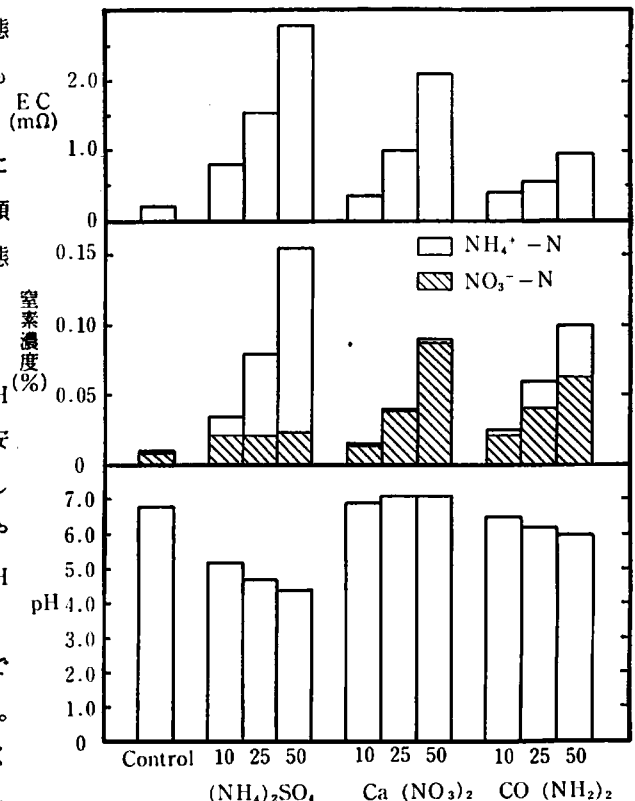


図-3 窒素の施用量と形態の相違が土壌のEC、窒素濃度、pHに及ぼす影響

約20%の窒素が失われたことになる。

ECは硫酸区が最も高く、次いで硝酸カルシウム区であり、尿素区は窒素濃度が硝酸カルシウム区よりも高いにもかかわらず最も低かった。

考 察

本試験における土耕興津早生に対する窒素50kg施用区は、実際栽培と比較するとかなり多いといえる。大垣¹²⁾が尿素を用いた試験では、10 a 当りの窒素量として17~18kg施用すると根が濃度障害を起すとしている。門屋¹⁰⁾によるとカンキツの根は、土壤溶液濃度が2 mΩ 以上になると障害を起す可能性があるという。本実験において2 mΩ を超えているのは、硫酸50kg及び硝酸カルシウム50kg区のみであるが、この値は試験終了後のものであり試験中はいずれの区もさらに高い値であったと考えられる。特に硝酸カルシウム及び尿素区では、硫酸区よりも早くから光合成速度を低下させたことを考えると、これらの区では、かえって硫酸区よりも土壤溶液濃度が高い時期があった可能性がある。いずれにしても窒素施用量が増え土壤溶液濃度が高まるにつれて、光合成速度が低下したことから、根の濃度障害が光合成作用に影響を及ぼしたと考えられる。これは砂耕試験の結果とも一致する。硫酸区と尿素区を比較すると尿素施用区は土壤のpHの低下が緩慢であった。それは以前に報告¹²⁾された成績と一致している。土壤のpHが低下すると一般に樹の生育は劣り、さらに、果実収量も減少する^{14,16,17)}。しかし、土耕試験において、硫酸区はpHが低下したにもかかわらず最も緩慢な光合成速度の低下を示した。湯田¹⁵⁾は、アンモニア態窒素の方が硝酸態窒素施用よりも生育がすぐれたとしており、この成績と一致している。中島¹¹⁾は6.0mΩ以上の硝酸カルシウム処理は著しくカンキツ樹の生長を阻害したと報告している。砂耕試験における硝酸態窒素4000ppm区のECは24mΩに達している。一方アンモニア態窒素2000ppm区は14mΩであるにもかかわらず光合成速度に対する影響は、常にアンモニア態2000ppm区の方が大きい。砂耕の条件下では、高濃度のアンモニア態窒素がカンキツの生長に悪影響を及ぼすことは門屋⁹⁾が報告している。土壤中では粘土がアンモニウムイオンを吸着するので、アンモニウムイオンの高濃度障害が出にくいのに対し硝酸イオンは土壤溶液中にとどまるので高濃度障害が出やすいのであろう。一方、砂耕中ではアンモニウムイオンも溶液中にありアンモニウムイオン自体の障害が出やすくなったものと推察される。そのため、土耕の場合と砂耕の場合とでは窒素の施用形態の相違がカンキツ樹に対して異った効果を示すのであろう。

葉分析では土耕試験のように多量の窒素を施用した場合、アンモニア態窒素が土壤中に多く存在する処理区ほど、窒素含有率が高くなる傾向にある。これはEltahirとOberly⁶⁾がモモで行なった試験で硫酸の方が高い含有率を示したと一致した。他の要素はあまり変化はなかったが、硝酸カルシウム区においてカルシウム含有率が高い値を示したのは、窒素に伴って施用されるカルシウムのためであろう。

摘 要

施用する窒素の形態と施用量が、カンキツ葉の光合成速度に及ぼす影響を調査するために土耕試験と砂耕試験を行なった。

土耕においては窒素10kg区では影響はほとんどなかったが、25kg区では影響が見られ50kg区では著しく光合成速度が低下した。

土耕では硝酸態窒素施用区で、また、砂耕においては、硝酸態窒素よりもアンモニウム態窒素施用区の方が光合成速度の低下が顕著であった。

土耕においては、各器官の窒素含有率は窒素の多施用区ほど高い傾向にあった。

引 用 文 献

- 1) 赤松 聡, 大和田厚, 船上和喜 (1970) 温州ミカン成木に対するチッソ施用量に関する研究 (第1報) 収量, 果実の品質および葉中成分におよぼすチッソ施用量の影響。園芸学会昭和45年度春季大会研究発表要旨 48-49。
- 2) 赤松 聡, 大和田厚 (1971) 温州ミカン成木に対するチッソ施用量に関する研究 (第2報) 樹勢, 結実および落果, 落葉におよぼすチッソ施用量の影響。園芸学会 昭和46年度春季大会研究発表要旨 72-73。
- 3) 赤松 聡, 大和田厚 (1973) 温州ミカン成木に対するチッソ施用量に関する研究 (第3報) 葉数と葉質の違いが果実の結実および品質におよぼす影響。園芸学会 昭和48年度春季大会研究発表要旨 62-63。
- 4) 天野勝司, 日野 昭, 大東 宏, 倉岡唯行 (1972) 果樹の光合成作用に関する研究 (第1報) 環境条件が光合成速度に及ぼす影響。園学雑 41 (2) : 144-150。
- 5) 土壤養分測定法委員会編 (1975) 土壤養分分析法 養賢堂。
- 6) Eltahir, Farouk H. and G.H. Oberly. (1982) Effect of nitrogen source on leaf element composition of greenhouse-grown peach seedlings. Hort Science 17 (5) : 793-794。
- 7) 藤田克治, 大垣智昭 (1963) 化学肥料の多用による温州ミカンの根の障害。農業及び園芸 38 (4) : 631-634。
- 8) 島中 洋, 松本明芳 (1970) チッソとカリの施用量が温州ミカンの品質におよぼす影響 (第1報) 葉および果汁成分にあたる影響。園芸学会昭和45年度春季大会研究発表要旨 46-47。
- 9) 門屋一臣 (1965) 窒素施用形態の相違が温州ミカン幼樹の生長に及ぼす影響。愛媛大学紀要第6部農学 11 : 321-334。
- 10) 門屋一臣 (1982) 農業技術大系 果樹編 1カンキツ, 基礎編 農山漁村文化協会 62-66。
- 11) 中島芳和, 中島庸策 (1966) 生育障害と無機成分との関係, カラタチ実生の生育ならびに養分吸収に及ぼす培養液の硝酸カルシウム供給の影響。高知大学学術研究報告 自然科学II 15(5) :

31-38.

- 12) 大垣智昭, 関野 茂 (1964) 温州ミカンに対する尿素の肥効及び障害に関する試験(1)温州ミカン園における肥効試験(2)温州ミカンの根に対する濃度障害. 神奈川県園芸試験場研究報告第12号 1-12.
- 13) 横溝 久, 石原正義 (1970) 温州ミカンのN栄養に関する研究, N供給形態および供給量の変化が温州ミカンの生育に及ぼす影響. 園芸学会昭和45年度秋季大会研究発表要旨 80-81.
- 14) Yuda. E. and S.Okamoto (1966) The effect of soil reaction on the growth of young citrus plants II. Forms of nitrogen and potassium fertilizer. J.Japan. Soc. Hort.Sci. 35 (1) : 19-28.
- 15) Yuda. E. and S. Okamoto (1965) The effect of soil reaction on the growth of young citrus plants I. Forms of nitrogen fertilizer and Kinds of pH adjusting agent. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 34 (3) : 177-186.
- 16) Yuda. E. and S. Okamoto (1986) The effect of soil reaction on the growth of young citrus plants III. Level of phosphorus application. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 37 (1) : 45-50.
- 17) Yuda. E. and S. Okamoto (1968) The effect of soil reaction on the growth of young citrus plants IV. Levels of nitrogen application. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 37 (3) : 205-211.

Summary

Rate of photosynthesis of citrus leaves as affected by nitrogen form and its amount applied was examined. One year old Okitsu wase mandarin trees were grown in the pots of 30cm in diameter. Sand culture as well as soil culture systems were adopted.

Ten kg nitrogen application per 10a did not affect the rate of photosynthesis. However, 25kg of nitrogen application resulted in a little decrease in the rate of photosynthesis being severely affected by 50kg application.

Result of soil culture experiment showed that citrus leaves responded sensitively to the nitrate ion concentration in the soil so as to decrease the rate of photosynthesis while in the case of sand culture, ammonium ion affected severely. As clay particles in the soil adsorb ammonium ions, the ion concentration in the soil solution can be kept low but nitrate ion concentration increased in proportion to the amount applied. In sand culture there were no particles such as clay to adsorb ammonium ions so that the ions of high concentration behaved adversely on the trees.

Nitrogen concentration in the leaves became high in response to the amount of nitrogen applied to the soil and was higher in the plots of nitrate ion application than that of ammonium.