

第4章 肥効調節型肥料および液肥樹上散布の利用

前章まででナギナタガヤ草生栽培による施肥窒素の利用効率向上と春季における葉面散布尿素の肥効、並びに一般園における春肥の効率化について示した。しかし、生産者の労働力不足が慢性化している現在、施肥窒素の吸収効率向上とともに施肥作業の省力化についても併せて検討する必要がある。

特に、愛媛県の特産果樹であり5400ha程の栽培面積を有する‘宮内イヨ’は（愛媛県農産園芸課編，2006），樹勢維持と収益性の高い大玉果生産が目標とされていることから年間の施肥窒素量が32kg/10aと多く，それを4回に分施する必要がある。急傾斜地における本種の施肥作業は生産者にとって大きな負担になっており，施肥量のみならず施肥回数についても削減が求められている。しかも‘宮内イヨ’は，本県における栽培面積の約65%程度が保肥力の低い花崗岩（坂本ら，1962）を母材とする中粗粒褐色森林土地帯で栽培されており（愛媛県農産園芸課編，2007），施肥に起因する環境負荷も懸念されている。このような状況から，‘宮内イヨ’栽培における施肥作業の省力化と吸収効率の向上を図るため，肥料成分の緩やかな溶出特性と溶出速度のコントロール性を有し，利用率の向上が期待できる肥効調節型肥料（羽生，2001；古屋，1995）を利用した年2回施肥法および施肥量削減の影響について検討した。

一方，施肥作業の軽労働化の観点からは，スプリンクラーを利用した液肥の樹上からの散布（施用）が考えられる。スプリンクラーの多目的利用に関する研究の一環として，カンキツに対する液肥の周年樹上散布については，すでに1960年代から各地で検討が行われ，

現在まで様々な報告がなされている（畠中・松本，1970・1973；石原ら，1967；石川・野中，2005；北野ら，1978；宮本，1965・1968，宮崎・森下，1966；西場ら，1970；大城ら，1972；山崎・森，1977；山下，1970）。しかし，これらの研究はいずれも樹上散布が土壌の理化学性や樹体栄養および収量・品質などに及ぼす影響について論じたものであり，樹上散布された液肥の樹体による吸収量を定量的に検討した事例はみられない。また，樹上散布の特徴としては，散布液の樹体への付着と樹冠下の土壌への落下があり，液肥中の成分は葉面および根群の両者から吸収されると考えられる。この両者の吸収量の差や吸収窒素の樹体内での分配などについても未だ明らかにされていない。このようなことから，スプリンクラーの利用を想定した樹上散布による窒素の吸収特性および利用率を解明し，施肥作業の軽労働化と効率化を図るため¹⁵Nトレーサー法を用いて検討した。

第1節 肥効調節型肥料による施肥回数および施肥量の削減

‘宮内イヨ’の年2回施肥法に適した肥効調節型肥料（緩効性被覆肥料）のタイプを選定するため肥料からの窒素溶出試験を行うとともに，本肥料を用いた際の環境負荷軽減効果を検討するためにライシメーターを用いて溶脱窒素量を調査した。また，生産現場において年2回施肥法および施肥量削減が土壌や樹体，収量・果実品質に及ぼす影響を検討するため，3か年間の現地実証試験を行った。

1) 肥効調節型肥料からの窒素溶出

材料および方法

溶出パターンと期間の異なる被覆燐硝安加里(N:P₂O₅:K₂O=14:12:14%)を供試して、1998年および1999年に時期別の窒素溶出状況を調査した。なお、一連の試験では、肥効調節型肥料は全て被覆燐硝安加里を用いた。1998年はリニア型40日溶出タイプとシグモイド型100日および140日溶出タイプ(3月施用時のみ)、1999年はシグモイド型70日と100日溶出タイプを供試した。供試肥料はタマネギを収納するポリエチレン製の袋(網目幅1.5~2.0mm)を加工した小袋に各4.00g/袋入れ、1998年は3月11日と8月29日に、1999年は3月12日と8月27日にセンター内の圃場(花崗岩を母材とする中粗粒褐色森林土)に施用した。施用方法は、地表面から約5cmの深さに小袋を埋設した地中埋設区および地表面に敷設するだけとした地表施用区とした。このうち、地表施用区は敷設後地表面を裸地状態に維持した地表・裸地区と雑草を刈り取り肥料上に薄く敷き草した地表・敷き草区を設けた。3月の施用時に行った敷き草は、肥料敷設直後(生重約0.8kg/m²)と7月(生重約1.5kg/m²)の計2回実施し、8月の施用時には肥料敷設直後(生重約1.5kg/m²)に1回行った。なお、1999年は地表・敷き草区のみを設定とした。

肥料は施用後約1か月間隔で圃場から回収し、肥料中の全窒素(硝酸態+アンモニア態)を微量拡散法で定量し、溶出率を算出した。

結果

(1) 1998年の窒素溶出率

リニア型40日タイプからの窒素溶出率は、3月上旬施用では施用1か月後の4月上旬には地中埋設区で68%、地表・裸地区および地表・敷き草区で63%であり、2か月後にはいずれの区も累積で80%以上となった(第47図)。8月下旬施用においても、施用1か月後にはいずれ

の区も約80%の高い溶出率を示した。

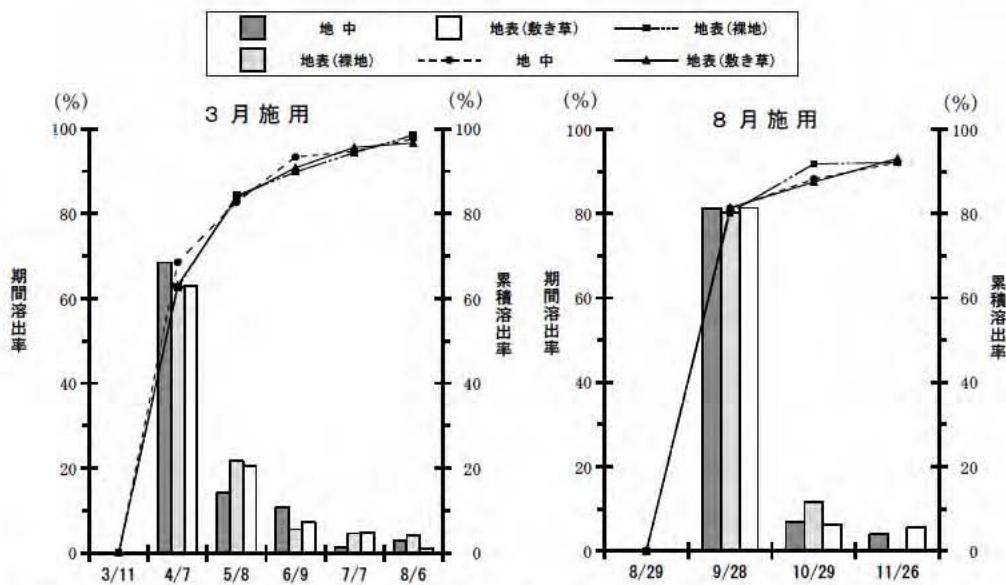
シグモイド型100日タイプの溶出率は、3月上旬施用の場合、5月上旬までは区間差はみられなかったが、地中埋設区ではそれ以降急速に高くなった。一方、地表・裸地区および敷き草区の溶出率の高まりは、地中埋設区に比べ約1か月遅れ、6月上旬からであった。地表・裸地区の溶出率の増加は敷き草区に比べて緩やかで、7月以降の累積溶出率は敷草区が約10%高く推移した。この結果、施用から9月中旬までの累積溶出率は地中埋設区が79%で最も高く、次いで地表・敷き草区65%、地表・裸地区52%の順となり、処理間で大きな差がみられた(第48図)。また、8月下旬施用ではいずれの区も10月以降に溶出率が高まったが、各期間の溶出率は地中埋設区が最も高く、次いで地表・敷き草区、地表・裸地区の順となった。施用から12月下旬までの累積溶出率は、地中埋設区75%、地表・敷き草区63%、地表・裸地区49%であり、3月施用と同様に施用方法による差が大きかった。シグモイド型140日タイプについては、地中埋設区では100日タイプに比べ約1か月溶出率の高まりが遅れたが、地表・敷き草区および裸地区では100日タイプに近い溶出パターンを示した。施用から9月中旬までの累積溶出率は、100日タイプと同様に地中埋設区が最も高く76%であり、次いで地表・敷き草区62%、地表・裸地区53%の順となった(第48図)。

(2) 1999年の窒素溶出率

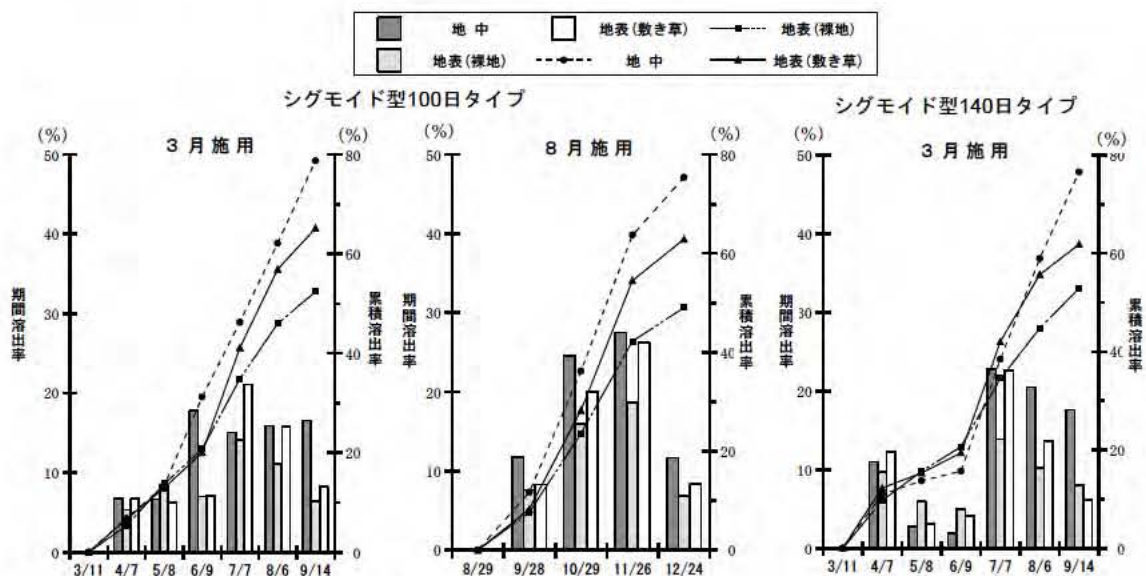
地表施用・敷き草状態としたシグモイド型70日タイプの窒素溶出率は、3月上旬施用では施用から6月上旬までは低く推移したが、6月上旬以降から急激に高まり、6・7月はそれぞれ15%、8月は29%が溶出し9月中旬までの累積溶出率は75%となった(第49図)。また、8月下旬施用では施用から1か月の間に多量の溶出がみられ、9月の溶出率は30%であったが、10月から12月にかけての溶出率はそれぞれ約10%

と低下し、12月下旬までの累積溶出率は58%であった。シグモイド型100日タイプについては、3月上旬施用では、施用から7月上旬までの期間溶出率はそれぞれ2~4%程度と低く推移したが、7月上旬以降から急激に高まり、7月は17%、8月は32%が溶出し9月中旬までの累積溶出率は61%となった。溶出率が急激に

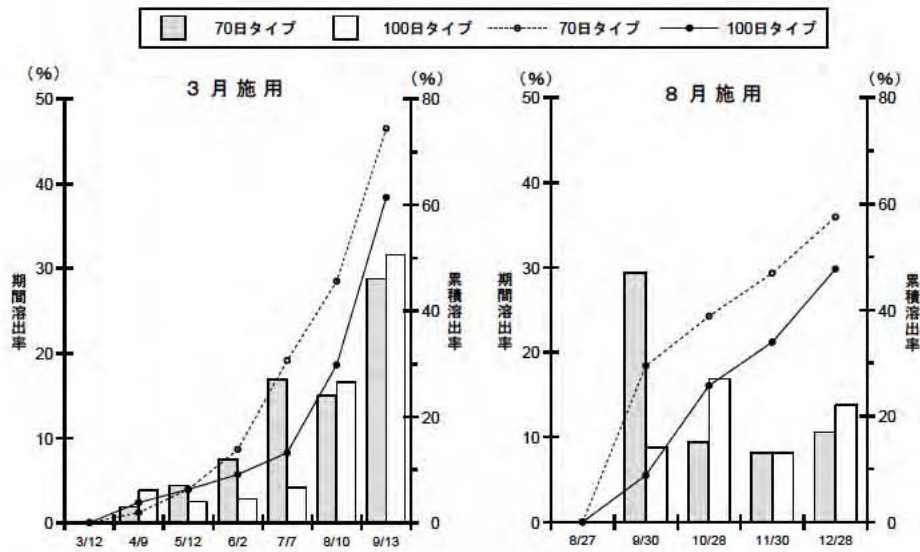
高まる時期は70日タイプに比べ約1か月遅れた。また、8月下旬施用では9月の9%に対し10月は17%と溶出率が高まる傾向にあったが、11月は8%に低下し12月は14%と再び高まった。施用から12月下旬までの累積溶出率は48%であった。



第47図 リニア型40日タイプからの月別窒素溶出率



第48図 シグモイド型100日および140日タイプからの月別窒素溶出率



第49図 シグモイド型70日および100日タイプからの月別窒素溶出率
地表面施用、敷き草状態

2) ライシメーター試験

材料および方法

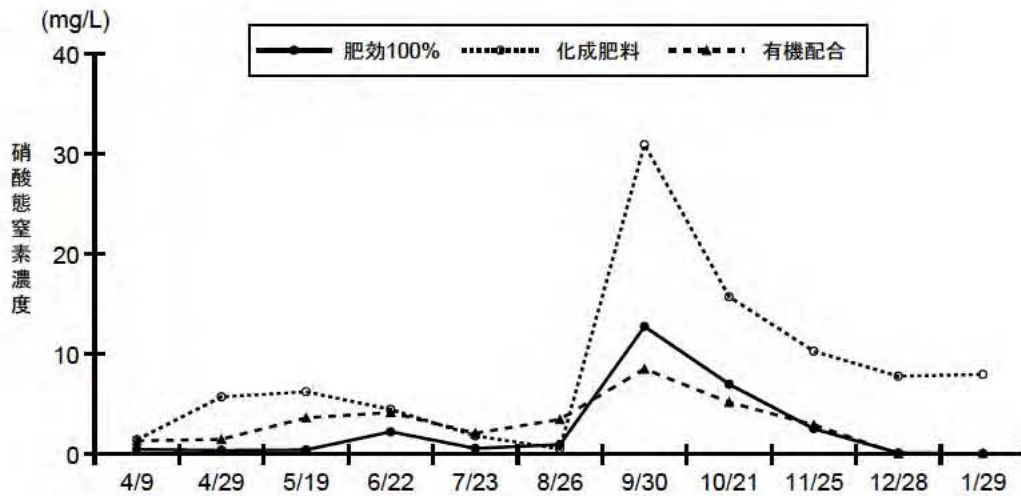
1998年3月から1999年2月までセンター内に設置されているライシメーターを用い、第5表に示した試験区を設定して、浸透水中の硝酸態窒素濃度および施肥窒素の溶脱量について検討した。肥効調節型肥料は、3月施用時はリニア型40日溶出タイプとシグモイド型140日溶出タイプ、8月施用時はリニア型40日溶出タイプとシグモイド型100日溶出タイプを等量混合して施用した。化成肥料は磷硝安加里化成(N:P₂O₅:K₂O=16:10:14%)を、有機配合肥料(N:P₂O₅:K₂O=9:7:7%)は有機率52%のものを供試した。施肥方法はいずれの区も地表面施用と

し、土壌管理は清耕裸地とした。ライシメーター1基当たりの容量は2m×2m×1.5mであり、花崗岩を母材とする中粗粒褐色森林土を充填したものを用いた。ライシメーターには20年生‘白柳ネーブル’が植栽されており、1区当たり3基使用した。浸透水の採取は試験期間中に約1か月間隔で行い、浸透水量と硝酸態窒素濃度の測定を行った。灌水は8月17日、9月2日、9月9日および9月10日にそれぞれ20mm量行った。なお、1999年の2月は全く浸透水が採取できなかった。硝酸態窒素の分析は微量拡散法で行い、施肥窒素の溶脱率は各区の年間溶脱量から無施肥区の溶脱量を差し引いて算出した。

第5表 ライシメーター試験の窒素施用時期と施用量

試験区	時期別窒素施用量 (g/ライシメーター1基)				年間窒素施用量 (kg/10a)
	3/10	6/25	8/24	11/5	
肥効調節型肥料100%区	72	—	56	—	32.0
肥効調節型肥料80%区	58	—	45	—	25.6
肥効調節型肥料60%区	43	—	34	—	19.2
化成肥料100%区	36	36	28	28	32.0
有機配合肥料100%区	36	36	28	28	32.0

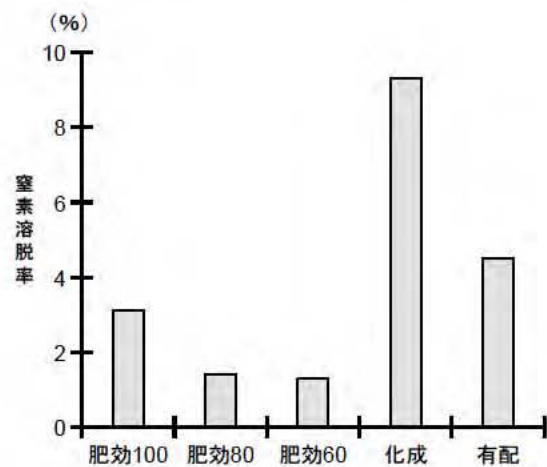
結 果



第50図 肥料の種類とライシメーター浸透水中の硝酸態窒素濃度の推移

浸透水中の硝酸態窒素濃度の推移については、同一施肥量とした肥効調節型肥料100%区および化成肥料100%区、有機配合肥料100%区を比較すると、春肥施用後は化成肥料区の濃度上昇が他区に比べて速く、4月下旬から5月中旬の間は6mg/L前後と最も高く推移した。有機配合肥料区は5月中旬から6月下旬にかけて4mg/L前後まで上昇した。また、肥効調節型肥料区は、5月中旬までは極めて低く推移し6月下旬にやや高まったものの、この期間の濃度は両区に比べて低く推移した。6月下旬の夏肥施用後から8月下旬の初秋肥施用時までの間は、いずれの区も低レベルで推移した。初秋肥施用後の9月下旬はいずれの区も急激に高まり、化成肥料区が31mg/Lで最も高く、次いで肥効調節型肥料区13mg/L、有機配合肥料区9mg/Lの順であった。化成肥料区はその後1月下旬にかけて漸減したが、この間の濃度も区間で最も高く推移した。肥効調節型肥料区および有機配合肥料区も9月下旬以降はほぼ同様な経過で漸減し、11月下旬には両区の差が無くなり、12月下旬以降は極めて低濃度となった（第50図）。試験期間中の平均硝酸態窒素濃度

は、化成肥料区が最も高く、次いで有機配合肥料区、肥効調節型肥料区の順であった。



第51図 肥料の種類と年間の施肥窒素溶脱率

浸透水による硝酸態窒素の溶脱量は、春季および秋季は化成肥料区が最も多く、夏季は有機配合肥料区がやや多かった。年間の施肥窒素の溶脱率は、化成肥料区が9.3%で最も多く、次いで有機配合肥料区の4.5%、肥効調節型肥料100%区の3.1%の順となり、施肥窒素量の少ない肥効調節型肥料80%・60%区は1.3～1.4%と極めて少量であった（第51図）。

3) 現地実証試験

材料および方法

1998年3月から2001年2月までの3年間、松山市北西部の‘宮内イヨ’園（花崗岩を母材とする中粗粒褐色森林土）において肥効調節型肥料区と対照の化成肥料区を設定し、実証試験を行った。供試園は傾斜25～30度の山なり園であり、試験開始時の樹齢は27年生、栽植本数約140樹/10aであった（第52図）。各試験区の規模は約10aとした。肥効調節型肥料区の施肥は3月上旬と8月下旬の年間2回とし、施肥窒素量は化成肥料区の80%として、10a当たりそれぞれの時期に14kgと11kgを施用した。3月の施用時にはリニア型40日溶出タイプとシグモイド型の各タイプを等量混和し施用した。3月施用のシグモイド型は窒素溶出試験の結果を反映させ、1998年には140日タイプ、1999年は100日タイプ、2000年は70日溶出タイプを用いた。8月施用時はいずれの年もリニア型40日溶出タイプとシグモイド型100日溶出タイプを施用した。化成肥料区は、燐硝安加里化成(N:P₂O₅:K₂O=16:10:14%)を使用し、愛媛県施肥基準に従って3月上旬、6月下旬、8月下旬および11月上旬に、10a当たりの窒素成分量でそれぞれ9kg、9kg、7kg、7kgを施用した。施肥方法は両区とも地表面への全面施用とし、地表面管理は除草剤散布による清耕裸地とした。なお、施肥以外の管理はすべて園主に委託した。

調査は、1998年4月から2001年2月まで土壌中および土壌水中の硝酸態窒素濃度を約1か月間隔で測定した。土壌は各区5か所から10cm層と30cm層に分けて採取し、採取位置は樹幹外周部の直下とした。土壌水は各区8か所から土壌溶液採取器（大起理化社製 DIK-8390）を用い、地表下100cmの深さの土層から採取した。なお、土壌水は降水量の極めて少ない時期には、埋設した大部分の採取器から採取出来ないこともあった。また、各区から樹勢の中庸

な樹を5樹選び、毎年5月から10月にかけて約1か月間隔で樹冠赤道部の不着果新梢から新葉を30葉採取し、葉中窒素含有率を測定した。

12月上旬の収穫時に収量調査を行い、12月下旬には定法に従って果実分析を実施した。なお、土壌および土壌水中の硝酸態窒素の分析は微量拡散法で行い、葉中窒素はケルダール法で定量した。

結果

供試園における地表下10cm層と30cm層の土壌中の硝酸態窒素含量の推移を両層の平均値で第53図に示した。化成肥料区では試験開始年の1998年は7月までは低く推移したが、8月から急激に増加し、9・10月にピークを迎えた。1999年は全体的に低く推移し大きなピークは現れなかったが、6月および12月に含量の増加がみられた。試験開始3年目の2000年は、7月になると急激に増加してピークを迎え、それ以降の減少は比較的少なく、1月まで高レベルで推移した。肥効調節型肥料区は試験期間中概ね化成肥料区と類似した増減パターンを示したが、1998年の4月から6月および2000年の5・6月以外は化成肥料区に比べ低く推移し、その差は化成肥料区の含量が高かった1998年の10月以降と2000年の7月以降に大きかった。

地表下100cmの深さの土層から採取した土壌水中の硝酸態窒素濃度については、1998年の4月から10月までの期間は化成肥料区と肥効調節型肥料区の差が比較的少なく、化成肥料区の方がやや高い傾向であった。しかし、化成肥料区の濃度はその後急速に高まり、1999年の5月から7月の間は100mg/L以上となった。その後、やや減少して1999年の8月から3月にかけては70～80mg/L前後で推移したが、2000年の4月以降は再び急増しピークの10・11月には150～160mg/Lにまで達した。一方、肥効調節型肥料区の濃度は1998年の10月から2001年2月の試験終了時まで常に化成肥料区より低く推移

した。また、肥効調節型肥料区の増減パターンは化成肥料区に比べて緩やかであり、時期や年次間差が少なかったため、化成肥料区との濃度差は年次とともに広がった。化成肥料区の年平均濃度は、1998年度61mg/L、1999年度86mg/L、2000年度133mg/Lであり、肥効調節型肥料区は1998年度46mg/L、1999年度43mg/L、2000年度51mg/Lであった。また、3か年の平均濃度は化成肥料区99mg/L、肥効調節型肥料区51mg/Lとなった（第54図）。

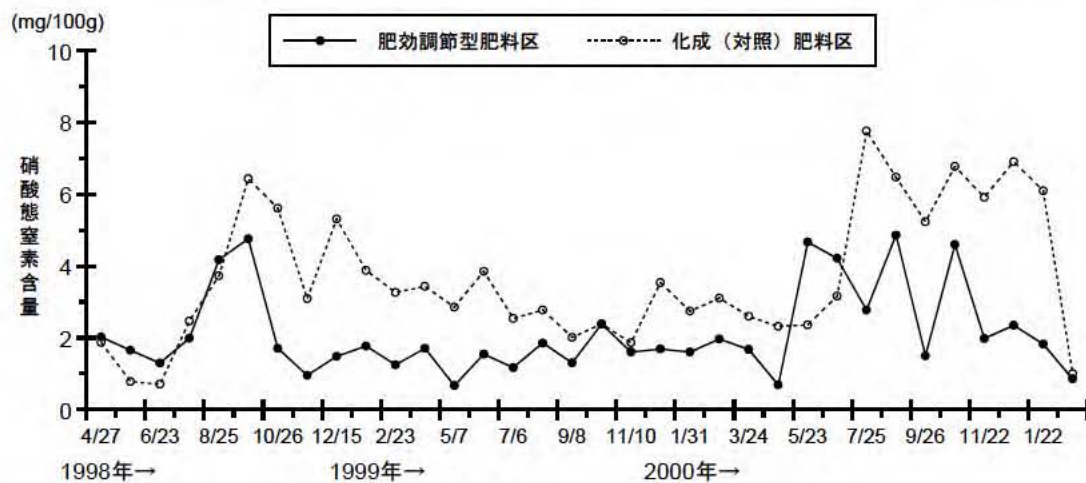
1998年の5月から10月にかけての葉中窒素含有率は、6月は肥効調節型肥料区が高く、9月は化成肥料区が高かったが、その他の時期は両区に差異がみられなかった（第55図）。1999年は、6月から8月の間は両区に差がみられなかったが、9月は肥効調節型肥料区が、10月は

化成肥料区がやや高かった。2000年は、6月以降になると肥効調節型肥料区が常に高く推移した。

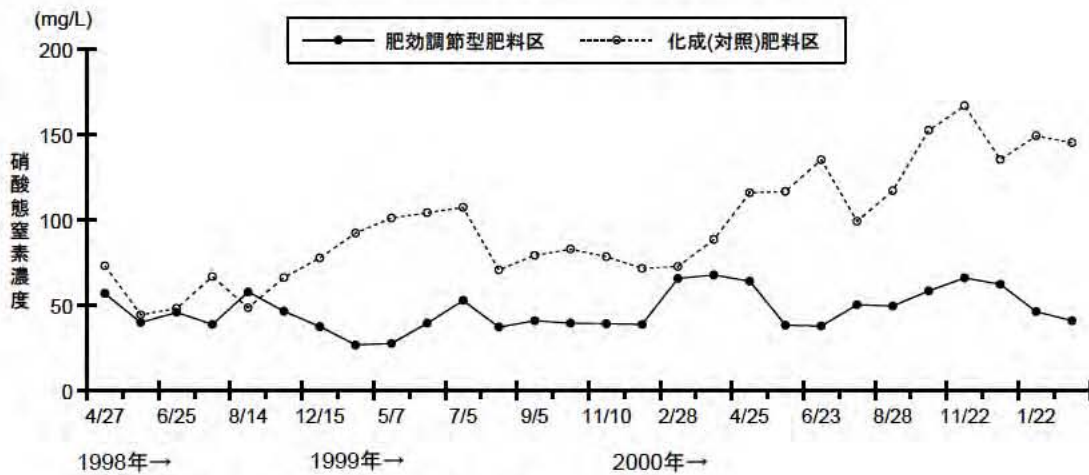
3か年間の1樹当たりおよび樹容積当たりの収量は、年次間差はみられるが処理区間内のバラツキが大きく、有意差は認められなかった。1果重についても同様であった（第6表）。果実外観は、果皮色（a値）が1999年に肥効調節型肥料区の方が優れる傾向がみられたが、その他の調査項目については有意な差が認められなかった（第7表）。果実品質については肥効調節型肥料区のBrixが、1998年は化成肥料区より低く、1999年は逆に高かった。また、クエン酸含量は、1998年および2000年において肥効調節型肥料区の方が低い傾向にあった（第8表）。



第52図 現地実証試験における供試圃場の状態（松山市北西部 27年生‘宮内イヨ’園）

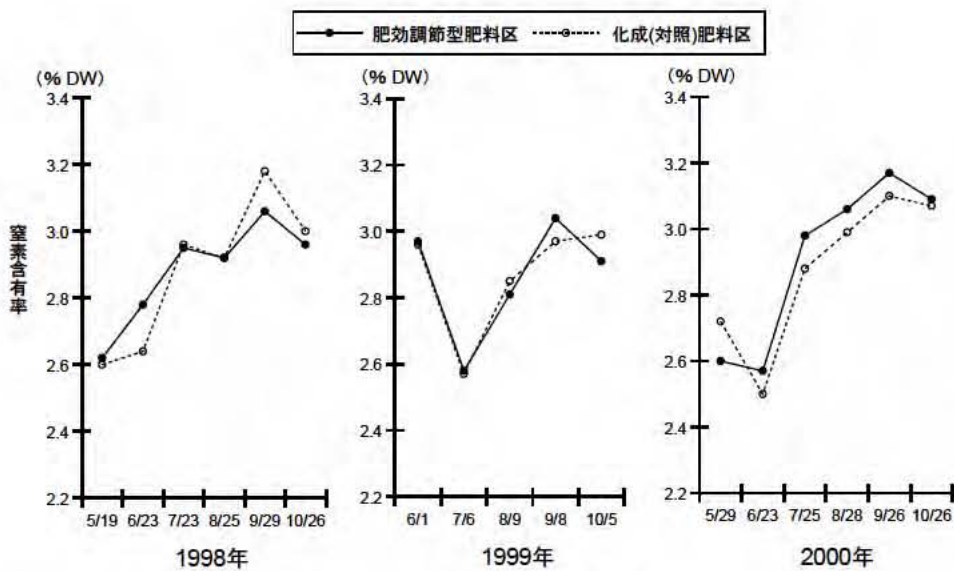


第53図 土壌中の硝酸態窒素含量の推移
地表下10cm層と30cm層の土壌の平均値



第54図 土壤水中の硝酸態窒素濃度の推移

地表下100cm層から採取した土壤水



第55図 '宮内イヨ' の3か年の葉中窒素含有率の推移

第6表 肥効調節型肥料が'宮内イヨ'の収量、1果重に及ぼす影響

試験区	1樹当たり収量 (kg/樹)			樹容積当たり収量 (kg/m ³)			1果重 (g)		
	'98年	'99年	'00年	'98年	'99年	'00年	'98年	'99年	'00年
肥効調節型肥料区	36.7	31.2	42.7	3.6	3.2	3.9	328	221	330
化成(対照)肥料区	37.7	41.0	48.1	2.9	3.5	3.8	346	228	302
有意性	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

有意性: t検定による5%レベル (n=10)

第7表 肥効調節型肥料が‘宮内イヨ’の果実外観に及ぼす影響（12月上旬収穫・12月中下旬分析）

試験区	着色程度			果皮色(a値)			果皮粗滑			果皮厚(mm)		
	'98年	'99年	'00年	'98年	'99年	'00年	'98年	'99年	'00年	'98年	'99年	'00年
肥効調節型肥料区	6.8	8.5	7.6	19.5	26.7	23.1	3.0	2.8	3.1	4.7	5.0	4.4
化成(対照)肥料区	6.9	8.2	7.2	15.5	22.7	19.6	3.1	2.7	3.1	5.0	5.0	4.6
有意性	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

着色程度：無着色0～完全着色10，果皮粗滑：滑1～粗5

*：t検定において5%レベルで有意差があることを示す(n=10)

第8表 肥効調節型肥料が‘宮内イヨ’の果実品質に及ぼす影響（12月上旬収穫・12月中下旬分析）

試験区	果肉歩合(%)			Brix			クエン酸含量(g/100mL)		
	'98年	'99年	'00年	'98年	'99年	'00年	'98年	'99年	'00年
肥効調節型肥料区	73.0	72.1	74.7	8.9	10.9	10.2	1.17	1.62	1.34
化成(対照)肥料区	71.9	70.4	73.7	9.7	10.2	10.4	1.27	1.53	1.41
有意性	NS	NS	NS	*	*	NS	*	NS	*

*：t検定において5%レベルで有意差があることを示す(n=10)

4) 考 察

肥効調節型肥料の窒素溶出の特性

肥効調節型肥料（被覆肥料）の最大の利点は、成分溶出のコントロール性と肥効の持続性である。‘宮内イヨ’栽培において、施肥回数を削減し省力化を図るためには、この利点の一つである肥効のコントロール性を効果的に発揮させる必要があり、目的に合った溶出期間と溶出パターンを有する肥料を選択することが重要である。肥効調節型肥料に表記されている溶出期間は、25℃の土壌中において窒素成分の80%が溶出する日数と一致するとされる（羽生，2001；古屋，1995）。ただし、本肥料の溶出速度は温度条件（地温）に最も大きく影響されるため（羽生，2001），地域や施用時期が違えば同一タイプのものであっても、その溶出速度は明らかに異なることが報告されている（古屋，1995；加治ら，1999）。現在、肥効調節型肥料は施用地域の地温データ

があれば各タイプの時期別溶出率をシミュレーションすることが可能であり（羽生，2001），本試験に供試した被覆燐硝安加里の各タイプは当センターの地温から作成した供試肥料製造メーカーのシミュレーションに基づいて選定した。しかし実際の溶出は、水田条件ではシミュレーションによる予測値とよく一致するが、畑条件下では溶出が予測値よりも遅れる例があること、また、地表面施用による溶出の遅れなどが指摘されている（羽生，2001）。このため、施用時期や施用方法の違いが供試肥料各タイプの窒素溶出率に及ぼす影響を圃場条件下において検討した。

各タイプの肥効調節型肥料からの窒素溶出率

3月上旬あるいは8月下旬に施用し、春肥および初秋肥の効果を期待したリニア型40日タイプの窒素溶出率は、施用方法を問わず1か月後には3月上旬施用で60%程度、8月下旬施用で80%程度と高率であり、それぞれ春肥および

び初秋肥の効果を発揮できると考えられた。しかし、シグモイド型100日および140日タイプについては、施用方法の違いが溶出率に影響を及ぼし、調査終了時の累積溶出率はいずれも、地中埋設区>地表・敷き草区>地表・裸地区の順であった。肥効調節型肥料の成分溶出速度について、藤澤ら（1998）は土壤水分の観点から、土壤の含水比が0.186kg/kgでは、溶出速度の実測値は土壤水分が十分にあり条件での予測値と一致し、これより低い土壤水分条件では溶出速度は低下して行き、含水比が0.023kg/kgになるとまったく溶出しないことを報告している。本試験における各区の溶出速度の差も、肥料の施用位置による水分条件の影響が大きいと考えられる。すなわち、溶出速度の最も速かった地中埋設区は、両区に比べて土壤の保水力により水分を容易かつ安定して吸水できる高湿な環境にあり、また、敷き草区も裸地区に比べて肥料周辺の湿度が高く保たれた可能性があると考えられる。

年2回施肥に適したシグモイド型のタイプ

本肥料をカンキツ園で利用する際の最大の問題点は現在の施肥法にあり、施肥後中耕などによって肥料と土壤を混和する作業はほとんど行われていない。このことは、シグモイド型肥料の溶出が予測値よりもかなり遅れる可能性があることを意味しており、最適な肥料の選択を困難にしている。ただし、生産現場での草管理は除草剤散布が中心であるが、雑草が繁茂している期間もあり、また、薬剤によって枯死した草は地表面の肥料をある程度被覆するため、実際にカンキツ園に施用した場合の溶出は本試験における地表・裸地区よりもむしろ地表・敷き草区に近いパターンになると推測される。

これらのことから、地表面施用を前提とした‘宮内イヨ’の年2回施肥に適するシグモイド型肥料のタイプは、3月上旬に施用して夏肥

の効果を期待するものとしては、累積溶出率の低い100日や140日タイプに比べ、溶出開始期はやや早い溶出率の高い70日タイプが望ましいと考えられる。また、8月下旬に施用して晩秋肥の効果を期待するものとしては、70日タイプは溶出開始期が早過ぎることから初秋肥窒素と重複し晩秋肥の効果が低いと判断されるため、平年並みの降水量では溶出率が低い欠点はあるものの現段階では100日タイプを選択せざるを得ないと考えられる。なお、前述のように本肥料の溶出速度は、気象条件による年次間差が認められるため、特にシグモイド型のものについては長期間調査を継続し、最適なタイプを選定する必要がある。

施肥窒素の溶脱量

果樹における肥効調節型肥料（被覆肥料）を用いたライシメーター試験としては、池田・井戸（1994）のイチジクを供試した報告があり、肥効調節型肥料による全量基肥施用法は有機配合肥料と化成肥料を組み合わせた慣行分施肥法に比べ、窒素溶脱量が26～32%減少したとされる。他の作目ではサトイモの事例があり（松丸，1997）、浸透水による窒素溶脱率は肥効調節型肥料区の方が慣行区より減少し、その差は黒ボク土に比べて砂質土の方が大きいことが報告されている。また、ウンシュウミカンでは被覆肥料とは異なるが、緩効性肥料の一つであるウレアホルム系化成肥料を用いた報告があり（坂本・奥地，1965）、浸透水中の硝酸態窒素濃度および量の低下が認められ、溶脱量については降雨の多い時期に差が大きいとされている。これらは本試験における結果とほぼ一致しており、緩やかな肥効を持続させることができる本肥料の特徴に由来するものと考えられた。本試験では9月の浸透水中の硝酸態窒素濃度は、肥効調節型肥料区の方が有機配合肥料区より高い傾向を示した。この原因としては、肥効調節型肥料区では3月上旬にシグモイド型140日タイプ施用

したことから、8月下旬までに溶出しなかった分量が初秋肥として施用したリニア型40日タイプからの溶出に加わったためと推測された。以上のように、肥効調節型肥料区では浸透水中の硝酸態窒素濃度がやや高まる時期もみられたが、本肥料を用いることによって年間の溶脱窒素量は化成肥料を用いた場合の33%、有機配合肥料の70%になることが示され、環境負荷軽減に貢献できるものと考えられた。なお、本試験における硝酸態窒素濃度および溶脱率は、ウンシュウミカンを対象として実施された既往の報告に比べ（船引ら、1963；坂本、1963；坂本・奥地、1965；山崎、1981）、低い結果となった。この点については、本試験のライシメーターに植栽されていた‘白柳ネーブル’は20年生と大きく、細根量が著しく多かったため、施肥窒素の多くが樹体に吸収された可能性があると考えられた。

土壌および土壌水中の硝酸態窒素

現地実証試験における3か年の土壌中の硝酸態窒素含量の推移をみると、化成肥料区では一部の時期を除くと、施肥直後に速やかに増加する傾向が認められ、硫酸アンモニウムを用いて実施した坂本（1963）の報告と類似しており、化成肥料の持つ速効性が反映されたものと思われた。また、肥効調節型肥料区も判然としない時期はあるが、概ね溶出試験から推定された各タイプの溶出期には増加する傾向がみられた。ただし、8月下旬施用のシグモイド型100日タイプについては、12月下旬までの溶出率が50～60%程度であるため、3月上旬施用のリニア型40日タイプの溶出期とかなり重複する部分があったと考えられた。降水量と土壌中の硝酸態窒素含量との関係については、概ね降水量の多い時期に含量が減少する傾向がみられ、特に1999年は施肥後においても増加が認められない時期があり、下層へ速やかに浸透したのと考えられた。

‘宮内イヨ’の細根の垂直分布は、大部分が

地表下25cm以内の浅層であることが知られており（高木ら、1987）、地表下100cmの深さの土壌水中の硝酸態窒素は樹体に吸収されずに溶脱するものと見なすことが出来る。肥効調節型肥料を使用すると作物による利用率が高まることを指摘した事例から（高橋、1998；上野ら、1991）、本試験は当初から施肥量を対照より20%削減して実施した。両区の3か年の硝酸態窒素濃度については、肥効調節型肥料区の施肥窒素量が80%であったことを考慮すると、試験開始年の1998年度は僅かに肥効調節型肥料区の方が低い程度であったが、1999年度以降は明らかな差が認められた。これは、肥効調節型肥料区が時期的な変動はみられるものの、1998年度から2000年度までほぼ一定のレベルで推移したのに対し、化成肥料区が1999年度以降高濃度で推移したことが原因とみられる。この結果は、加治ら（1999）がチャ園で実施した実証試験の結果と一致し、肥効調節型肥料の特性に起因するものと考えられた。また、福島・河村（1989）は樹園地で施肥や管理作業が少なく降水量も比較的少ない冬季における硝酸態窒素濃度は流出水量に反比例する傾向があることを報告している。本試験における化成肥料区が2000年10月以降に極めて高濃度で推移した要因の一つとして、この時期の少雨の影響が大きいと考えられた。

施肥量削減の影響

施肥量の低減が‘宮内イヨ’の樹体に及ぼす影響については、高木ら（1987）および林田ら（1994）の報告があり、前者は葉中窒素含有率の低下を、後者は葉中窒素含有率の低下および果皮の紅が薄くなることを指摘している。本試験では肥効調節型肥料区を20%減肥して樹体への影響を検討したが、両者に共通する葉中窒素含有率の低下は3か年間認められず、むしろ2000年は肥効調節型肥料区の方がやや高く推移した。また、果皮色についても1999年は肥効調節型肥料区のa値が高い傾向

がみられた。これらのことから、少なくとも3か年間は20%減肥の影響が認められず、葉中窒素の推移から判断すると化成肥料区と同等以上の肥効があったものと考えられた。ただし、両区におけるBrixとクエン酸含量の差異についての原因は不明であるが、年次間に一定の傾向がみられないことから施肥の影響とは考えにくく、他の要因によるものと推測された。

本試験において、肥効調節型肥料区は土壌中の窒素含量が低く推移したにも関わらず、葉中窒素の低下が認められなかったことから、利用率が向上した可能性が示唆された。このため、今後は水稻（上野ら，1991）、野菜（高橋，1998）、飼料作物（井上ら，2000）などで報告されているように、 ^{15}N 標識肥効調節型肥料を利用して本肥料を用いた際の利用率を検討し、低減可能な施肥量を明らかにする必要があると考えられた。

以上のように、肥効調節型肥料を利用することによって‘宮内イヨ’の収量や品質を低下させることなく、施肥回数を年間4回から2回に削減することが可能となり、施肥作業の省力化に貢献できるとともに環境負荷軽減にも有効であることが示された。また、20%程度の施肥量削減が可能であることも示唆された。しかし、地表面施用を前提とした場合、気象変動による溶出の不安定さや最適な溶出パターンでの肥料選択などの問題が残されており、さらに検討を重ねる必要があると考えられる。

第2節 樹上散布による液肥の利用率と土壌中における窒素の消長

既存のスプリンクラーを利用して液肥の樹上散布を行った際の、ウンシュウミカン樹による散布窒素の吸収特性および利用率を把握

するため、4月中旬に ^{15}N 標識尿素液を散布し、慣行の夏肥施用期である5月下旬～6月上旬に解体調査を行った。また、ウンシュウミカン圃場において樹上散布と慣行施肥の土壌中の無機態窒素の消長を検討した。

1) 樹上散布尿素の吸収特性

材料および方法

容量約60Lの黒色ポット（形状は第2・3章のものと同様）に植栽されている4年生‘南柑20号’（カラタチ台）を1区3ポット供試した。処理区として動力噴霧機を利用した手散布を想定したハンドスプレー散布区（以下スプレー散布区）、スプリンクラーによる樹上散布を想定した樹上散布区および樹上散布＋土壌施用区（樹上＋土壌区）を設け、散布にはいずれの区も ^{15}N 標識尿素(10.3atom%)の0.33%液を用いた。散布は新梢長が10～12mm程度であった2004年4月15日に行い、散布時には白色の透湿性シートでポットの地表面を被覆し、散布液の土壌への流入を防止した。

スプレー散布区は容量1000mLのハンドスプレーを用いて、散布液が葉先から僅かに滴り落ちる程度を目安に、葉の表裏に丁寧に散布した。散布液量は樹容積により異なったが1樹当たり約130mLであった。一方、樹上散布区は1樹当たり150mL量の尿素液を容量1000mLのジョウロで樹上から散布し、地上部の散布液付着量を樹上散布条件における飽和量に近づけるため、シート上に滴下した落下液を回収して再び樹上散布を行い、2度目の落下液を回収して廃棄した。樹上＋土壌区は2度目の落下液（約80mL/pot）をシート下の土壌表面に施用した。供試ポットは降雨の影響を避けるため、散布前に露地から側面を解放したガラス室内に移動し、解体時まで管理した。かん水は散布後から解体時まで2～4日毎に1回当たり6.2mm/pot量を行った。なお、春肥は慣行に従い有機配合肥料（N:P₂O₅:K₂O=10:8:8%）を用

いて、3月1日にN：10kg/10a換算量を土壌施用した。

解体は5月28日～6月8日にかけて実施し、樹体を新葉、新梢、果実（幼果）、旧葉、1年生枝、2～3年生枝、主幹、細根、小中根、大根根幹に分けて採取した。また、落下物（旧葉、花器など）は散布時～解体時まで適宜採取した。試料は質量分析法（Europa Scientific 社製 ANCA-SL）により¹⁵N濃度を測定した。

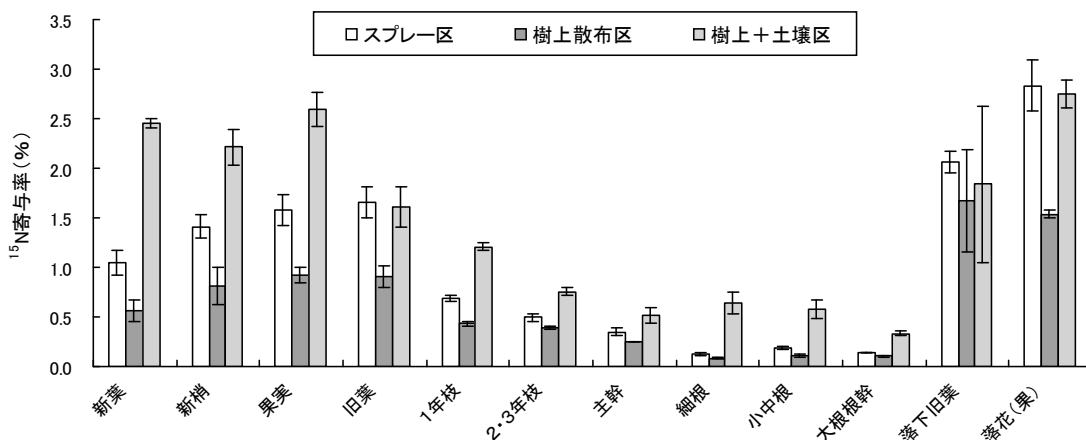
結果

解体した各器官の¹⁵N寄与率は、それぞれの散布方法における共通点として、落下旧葉や落花（果）および新器官、着生旧葉で高く、旧枝や根部で低かった。¹⁵N寄与率は着生旧葉と落下物を除く大部分の器官において、樹上+土壌区>スプレー散布区>樹上散布区の順であった。根部においては樹上+土壌区がスプレー散布区や樹上散布区に比べ明らかに高かった（第56図）。吸収窒素の樹体内での分布割合は、いずれの散布方法においても新葉や落花（果）および着生旧葉で高かった。しかし、これらの器官では散布方法による分配率の差が認められ、着生旧葉や落花（果）ではスプレー散布区と樹上散布区が樹上+土壌区より高く、新葉では樹上+土壌区が他の

区より高率であった。また、細根への分配も樹上+土壌区が他区より多かった（第57図）。

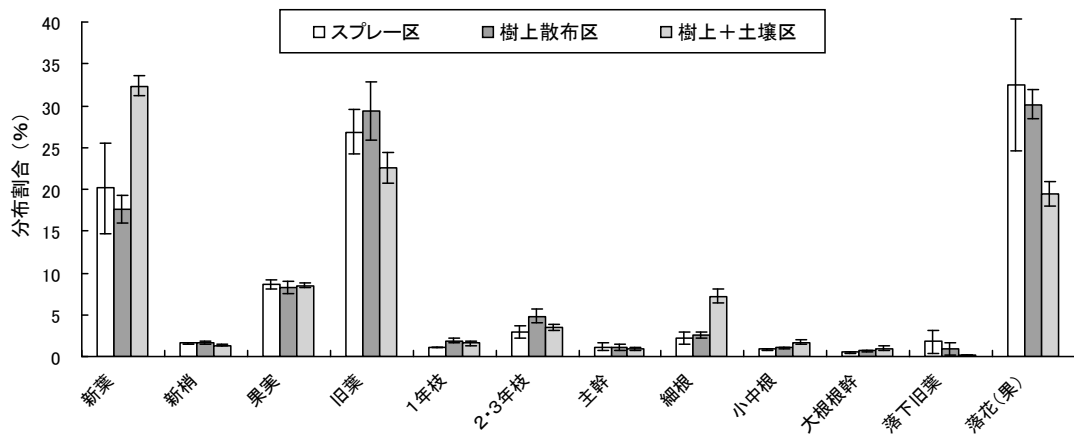
樹体全体における散布窒素の吸収量は、樹上+土壌区が最も多く、次いでスプレー散布区の順となり、樹上散布区が少なかった。樹上+土壌区の吸収量はスプレー散布区の1.5倍、樹上散布区の2.6倍であり、スプレー散布区は樹上散布区の1.7倍であった。¹⁵N寄与率も吸収窒素量と同様に、樹上+土壌区>スプレー散布区>樹上散布区であった（第58図）。散布窒素の利用率は、スプレー散布区の45%に対し、樹上+土壌区は59%と高く、樹上散布区では23%と低かった。

散布時にシート上に滴下した尿素液量から算出した散布液の樹体（地上部）への付着率を比較すると、スプレー散布区の83%に対し、樹上+土壌区および樹上散布区は43～47%程度と低かった。また、地上部のみから吸収が行われたスプレー散布区と樹上散布区の窒素吸収量を、旧葉の単位面積当たりに換算するとスプレー散布区が樹上散布区の1.9倍であった。しかし、両区の樹体への付着量から算出した付着窒素に対する利用率をみると、スプレー散布区の54%に対し樹上散布区は53%となり、両者は同レベルであった（第59図）。

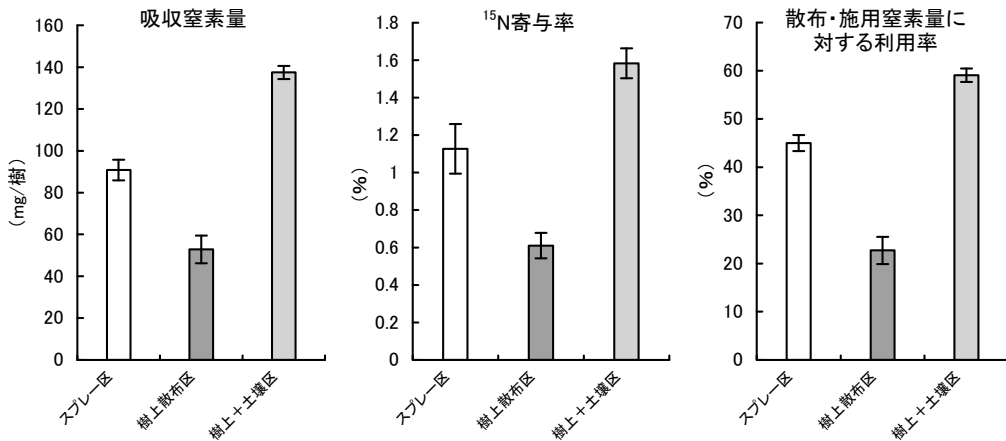


第56図 尿素の散布方法の違いと‘南柑20号’各器官の¹⁵N寄与率

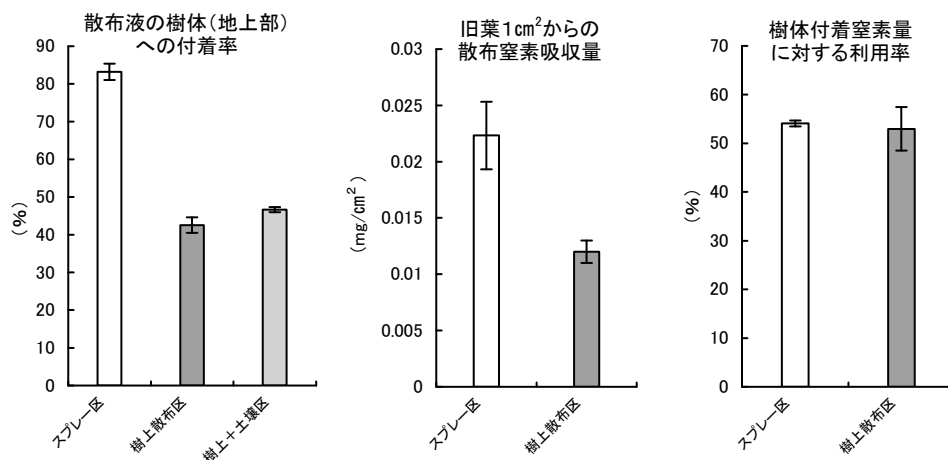
誤差線は標準誤差を示す (n=3)



第57図 尿素の散布方法の違いと‘南柑20号’各器官における吸収窒素の分布割合
誤差線は標準誤差を示す (n=3)



第58図 尿素の散布方法の違いと‘南柑20号’の樹体全体における散布尿素の吸収量、¹⁵N 寄与率、利用率
誤差線は標準誤差を示す (n=3)



第59図 尿素の散布方法の違いと‘南柑20号’の樹体への付着率および吸収量、利用率

散布液の付着率 = (散布液量 - 落下液量) / 散布液量 × 100
誤差線は標準誤差を示す (n=3)

2) 圃場における液肥周年施用と土壌中の無機態窒素

材料および方法

センター内の花崗岩質土壌（中粗粒褐色森林土）に植栽されている高接ぎ9年生‘日南1号’（中間台：南柑20号）の圃場を供試し、スプリンクラー施肥を想定した液肥の周年樹上散布試験を1999年度から2000年度にかけて実施した。供試肥料は、液肥樹上散布区（以下液肥区）には、硫磷安系の水溶性高度化成肥料（N:P₂O₅:K₂O=15:15:10%）を用い、対照区（慣行の土壌施肥法）には有機配合肥料（N:P₂O₅:K₂O=9:7:7%・有機率52%）を施用した。施肥窒素量は液肥区、対照区ともに愛媛県施肥基準量（N：20kg/10a）を施用する区をA区とし、春肥にN：7kg/10a量を、秋肥にN：13kg/10a量を施用した。また、両区ともに基準量の70%を施用する区をB区とした。1999年の施用時期については、液肥区の春肥は、肥効の速効性を考慮し5月上旬～下旬にかけて約10日間隔で3回散布し、対照区の春肥も液肥区に合わせて5月上旬に1回で施用した。秋肥として液肥区は10月中旬から11月中旬までに4回散布し、対照区は10月中旬および11月上旬に分施した。2000年は、液肥区の春肥を3月下旬～5月上旬の3回散布に変更し、対照区の春肥も3月下旬に施用した。秋肥については1999年と同様に行った。液肥区の散布濃度はい

ずれの時期も0.33%（300倍液）とした。散布は動力噴霧機を利用し、スプリンクラー散布を想定してノズルを外したホースのコックで水圧を調節しながら樹上から行った。調査は、1999年は5月から8月まで、2000年は6月と11月に1区6か所から地表下10～15cm層の土壌を採取し、無機態窒素含量を微量拡散法で定量した。

結果

1999年の無機態窒素含量は、大部分の区において5月中旬が最も高く、5月下旬にかけてやや減少した。その後、6月下旬まではあまり変動がみられなかったが、8月中旬にはいずれの区も大幅に減少した。各調査時における窒素含量を比較すると、5月中旬は対照A区が2.08mg/100gで最も高く、次いで液肥A区、対照B区の順となり、液肥B区が0.84mg/100gと最も低く、同区は対照A区との間に有意差が認められた。その他の調査時においては区間に有意差はみられなかったものの、5月下旬や6月下旬では施肥量が同一の場合は対照区の方がやや高い傾向にあった。一方、2000年は逆に、6月調査時では液肥B区が最も高く、液肥A区も対照B区より有意に高かった。また、11月では液肥A区が対照A区および対照B区に比べて高い含量であった（第9表）。

第9表 ‘日南1号’ 圃場の土壌中の無機態窒素含量の推移 (mg/100g)

試験区	1999年				2000年	
	5/20	5/31	6/24	8/19	6/23	11/21
液肥A区	1.54ab	1.10	1.17	0.56	0.63b	0.86a
液肥B区	0.84b	1.03	0.98	0.54	0.95a	0.49ab
対照A区	2.08a	1.37	1.54	0.56	0.44bc	0.47b
対照B区	1.38ab	1.19	1.16	0.47	0.35c	0.47b
有意性 ^z	*	NS	NS	NS	*	*

z: Tukeyの多重検定, 異符号間に5%水準で有意差あり (n=6)

3) 考 察

樹上散布液の付着特性と葉面吸収

スプリンクラー散布による葉への散布液の付着特性は、葉表への付着が主であり、葉裏への付着量は極めて少ないことが明らかにされている（小笠原ら，1977；荻原ら，1999）。本試験のポット樹における樹上散布区および樹上＋土壌区では、散布後に葉裏への付着はほとんど観察されなかった。両区は樹体への尿素液の付着率も、葉の表裏に丁寧散布したスプレー散布区の約50%であり、散布液の大部分が葉表のみに付着したことが確認された。また、スプリンクラー散布における散布液の地表面への落下量は、15年生のウンシュウミカンを用いた場合、400L/10a以上になると急激に増加することが報告されている（小笠原ら，1977）。両区に散布した尿素液量は、供試ポットの上面の面積から10aあたりに換算すると約850Lとなり、樹体への付着量は370～400L/10aと算出され、既報と概ね一致した。

葉面からの尿素の吸収は、葉表に比べて葉裏の方が速いことが知られている（Cook・Boynton, 1952；野口・菅原, 1954）。本試験のスプレー散布区と樹上散布区の解体時における散布窒素の吸収量を比較すると、樹体全体での吸収量は葉の表裏から吸収されたスプレー散布区が葉表のみからの吸収であった樹上散布区の1.7倍であり、旧葉の単位面積当たりからの吸収量もスプレー散布区が1.9倍と多かった。しかし、樹体に付着した窒素の利用率は、ともに53～54%と差がみられなかった。リンゴ葉では葉表からの尿素の吸収速度は葉裏に比べて明らかに遅いものの、7日後には葉表と同等の吸収率を示したとされ（Boyntonら, 1953）、オレンジ葉でも同様の報告が残されている（Impey・Jones, 1960）。本試験からは、葉表から吸収された付着窒素の利用率が、葉裏からのそれと同等になる日数の確認は出来なかったが、ウンシュウミカン葉においても、

ある程度無降雨の期間があれば葉表からも葉裏と同等の吸収を示すことが明らかになった。

落下液の根群吸収

一方、樹上散布を行い、加えて落下液を土壌に施用した樹上＋土壌区の吸収量および利用率は、樹上散布区やスプレー散布区よりも明らかに高く、落下液中の窒素は根群から高率に吸収されたものと推測された。そこで、樹上＋土壌区において、樹上散布区の各器官の¹⁵N濃度を樹上＋土壌区の該当器官に代入し、同区の葉面吸収量と落下液の根群吸収量の推定値を算出したところ、吸収窒素量、¹⁵N寄与率ともに根群吸収の方が葉面吸収より1.6倍程高かった。また、地上部へ付着した散布窒素の樹体による利用率は49%となり、落下液中の窒素の利用率は68%と推定された（第60図）。土壌へ施用された窒素の利用率は、ウンシュウミカンでは施用量が少ないほど高率になることが明らかにされており（井田ら，1980）、鯨・菅井（1999）は、ポット樹において葉面散布量と同量の尿素液を土壌施用した場合、葉の¹⁵N寄与率は土壌施用の方が葉面散布より高まったことを報告している。本試験におけるポット樹の土壌管理は、¹⁵N施用後から解体時まで完全な裸地状態とし、かん水は溶脱を防ぐために2～4日間隔で1回当たり6.2mmとした。このため、4月中旬から5月末までのポット樹への総かん水量は、平年のこの期間の降水量の55%程度と少量であった。また、樹上＋土壌区の落下液中に含まれる窒素量は、10aあたりに換算すると0.7kgに過ぎなかった。同区の根群吸収による利用率が極めて高まった点については、このように施用窒素が溶脱し難い状態において裸地管理下で少量施用されたため、樹体の窒素吸収にとっては好適な条件が重なったことに起因すると推測される。

これらのことから、スプリンクラーを利用した尿素液の樹上散布は約900L/10a程度までの散布量であれば、葉面からの窒素吸収は動

力噴霧機を用いた手散布による立木全面散布より少ないものの、雑草が繁茂しておらず、散布後に多量の降雨がないなどの条件が整えば根群による高率な吸収が見込まれるため、4月散布でも60%程度の利用率が期待できると考えられる。

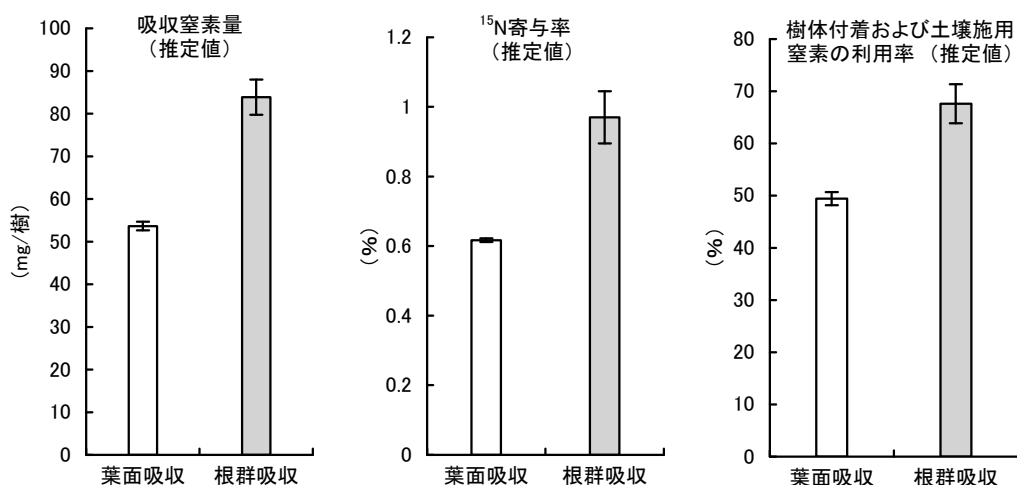
樹上散布における吸収窒素の移行特性

解体時における吸収窒素の樹体内分布については、樹上＋土壌区およびスプレー散布区ともに62%程度が春季新生器官に分配されており、春季の葉面散布窒素が新生器官に多く移行することを示した既報と一致した（石川ら、2008）。しかし、新生器官の中での分配率をみると、樹上＋土壌区は新葉で高く、スプレー散布区では落花（果）において高かった。ウンシュウミカンにおいて葉面吸収された尿素は、葉内で速やかに有機態窒素まで代謝されて一旦留まり、他器官に移行を開始するのは散布5日後以降であることが報告されている（吉川ら、1999a）。一方、土壌施用された無機態窒素の移行速度は速く、4月上旬施用でも3日後には既に葉部に吸収窒素が移行していることが明らかにされている（石川、2007）。本試験の樹上＋土壌区は、前述のように葉面吸収よりも落下液の根群による吸収の方が多く、また、4月中旬に散布したため、丁度この時期に旺盛な生育を示し強いシンクとなっている新葉へ速やかに根群吸収分の窒素が移行を開始したものと思われる。それに対して、主な吸収器官が旧葉に限定されるスプレー散布区では、葉内に吸収された窒素の移行開始が樹上＋土壌区より遅れたため、新葉よりもむしろ急速に肥大し始めた蕾を中心に吸収窒素の移行が行われた可能性がある。また、両区の新生器官以外の分配率を比較すると、細根では樹上＋土壌区の方がスプレー散布区より高く、旧葉ではスプレー散布区の方が高かったが、これは両区における散布窒素の吸収器官の差による影響と考えられる。

圃場における液肥の周年樹上散布と土壌中の無機態窒素

ウンシュウミカンにおいて年間の施肥成分量を液肥のみで周年樹上散布を行った場合、土壌中の無機態窒素の動態について山崎・森（1977）は、慣行の土壌施用に比べて硝酸態窒素の増減幅が大きくなることを指摘し、畠中・松本（1970・1973）は低く推移することを報告している。本試験における液肥区と有機配合肥料を土壌施用した対照区の無機態窒素含量を比較すると、5・6月に多雨であった1999年は液肥散布後から6月下旬まで液肥区の方が低く推移した。しかし、同時期に少雨であった2000年は6月下旬のみの調査ではあるが、逆に液肥区の方が高かった。また同年は秋肥施用後の11月中旬以降も少雨であったが、この場合も11月下旬の無機態窒素は液肥区の方が高い傾向がみられた。北野ら（1978）および関谷（1982）は液肥の樹上散布の特徴として、肥効の発現が早い反面、降雨などにより下層へ溶脱し易いことを指摘している。液肥の樹上散布による樹冠下への落下液は、土壌施肥に換言すれば化成肥料の施用にかん水が加わったものであるため、肥効の速効性という利点はあるが、有機物を含む慣行の有機配合肥料に比べると成分の溶脱が容易な性状にあると考えられ、ライシメーターを用いた試験においても高度化成肥料の方が有機配合肥料よりも溶脱窒素量が多いことが報告されている（石川ら、2002）。

これらのことから、液肥の樹上散布は、散布後の降水量の影響を受けやすく、降雨が多い場合は土壌の下層への浸透や溶脱が速いものと推測される。しかし、液肥は当初から成分が水溶液の状態での施用となるため、早春や梅雨明け後、あるいは晩秋などの降雨の少ない時期においては速やかな肥効が期待できると考えられる。



第60図 樹上散布+土壌施用区における葉面吸収^Zと根群吸収^Yの施用窒素吸収量・¹⁵N寄与率および利用率の推定値

Z: 樹上散布区における各器官の¹⁵N濃度を樹上散布+土壌施用区の該当器官に代入して算出
 Y: 樹上散布+土壌施用区における各器官の全吸収窒素量-該当器官の葉面吸収量
 誤差線は標準誤差を示す(n=3)

第3節 摘要

花崗岩土壌地帯に多く栽培され、施肥回数と施肥量の多い‘宮内イヨ’に対し、施肥回数の削減と溶脱窒素量の低減を図るため、肥効調節型肥料を利用した年2回施肥法について検討した。

肥効調節型肥料からの窒素溶出は、リニア型40日タイプでは施用方法の影響を受けず安定していた。しかし、シグモイド型の各タイプは施用方法によって異なり、累積溶出率は地中埋設区>地表・敷き草区>地表・裸地区の順であった。ライシメーター試験による各種肥料の施肥窒素溶脱率は、化成肥料>有機配合肥料>肥効調節型肥料の順であった。肥効調節型肥料の施肥窒素量を対照区より20%削減して実施した現地実証試験では、年2回施肥や減肥による樹体への影響は3か年間認められず、実証区(肥効調節型肥料区)は土壌中の硝酸態窒素含量が低く推移し、深層の土壌水中の硝酸態窒素濃度も対照区に比べて明らかに低下した。

さらに、既存のスプリンクラーを利用して液肥の樹上散布を行った際の、ウンシュウミカン樹よる散布窒素の吸収特性および利用率を把握するため、4月中旬に¹⁵N標識尿素液を散布し追跡調査を行った。また、ウンシュウミカン圃場において樹上散布と慣行施肥の土壌中の無機態窒素の消長を検討した。

樹上散布した尿素液の樹体への付着量は、手散布に比べて明らかに少なく、葉裏への付着はほとんど観察されなかった。散布液の付着率は手散布が83%であったのに対し、樹上散布では45%であった。このため、散布尿素の葉面からの吸収量は、樹上散布が手散布の58%と少なかった。しかし、樹体に付着した窒素量に対する利用率は、樹上散布が53%、手散布は54%であり両者は同等であった。一方、樹上散布において、葉面吸収量と土壌へ落下した尿素液の根からの吸収量を加算した散布窒素量に対する総利用率は59%となり、手散布の散布窒素量に対する利用率の45%に比べて高率であった。樹体に吸収された散布尿素由来窒素は、樹上散布および手散布ともに春

季新生器官に62%が分配されていた。また、樹上散布を行った際の圃場における土壌中の無機態窒素含量は、降雨が多い場合は減少が早く、降雨が少ない時期には増加が早い傾向がみられた。

これらのことから、肥効調節型肥料の利用は、‘宮内イヨ’栽培における施肥回数を削減

でき、施肥作業の省力化に有効であるとともに、施肥量の低減や環境負荷軽減に貢献できる可能性があると考えられた。また、スプリンクラーを利用した液肥の樹上散布は、散布後に多量の降雨がないなど条件を整えば、葉面および根群から高率で吸収されることが示された。