

施肥資材，地表面管理方法，モモ植栽樹の有無が ライシメーター土壤からの窒素溶脱に及ぼす影響

古屋 栄・齊藤典義¹・手塚誉裕

¹現 山梨県農政部

キーワード：モモ，ライシメーター，窒素溶脱，被覆尿素肥料，草生栽培

緒言

果樹園に肥料として施用した窒素分は硝酸に変わり溶脱され，最終的に地下水に到達すると環境への負荷要因となる。

山梨県は甲府盆地を中心にブドウ，モモ等の合計面積 10,311 ha の落葉果樹産地が広がっている¹⁾。一方，県内の公共水道は水源の 70% に地下水を使用しており，全国平均の 25% に比べかなり高い。また，山梨県は国内ミネラルウォーターの 22.9% を出荷し，日本一の生産量をあげている²⁾。このように，山梨県はきれいな地下水への依存度が高い地域であるが，高い品質の地下水を将来に渡り維持する機運が高まっている。

特に，地下水が分布する地帯は果樹地帯と重複している。そのため果樹園に施用される肥料中の窒素分の地下水への混入が危惧される。近年ではそれらの視点からの現状把握と解析が進んでいる^{3~5)}。現在のところ硝酸汚染が問題となっているわけではないが，将来に向け果樹産地としてさらに発展するためには，生産者側からも健全な周辺環境の維持をさらに進める必要がある。

そこで，本試験では現状の施肥における窒素成分の動きを把握し，環境にやさしい施肥を目指すためにライシメーター試験を実施した。試

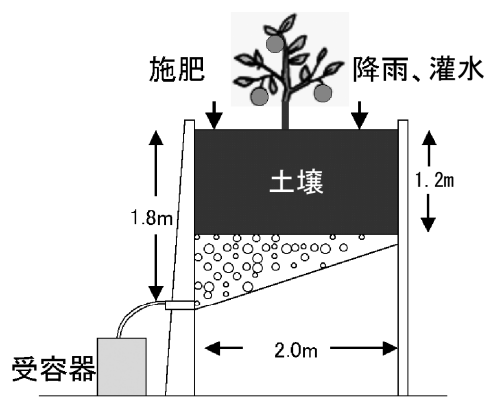
験では，施肥資材，地表面管理方法，植栽樹の有無が窒素溶脱等に及ぼす影響について検討し，環境負荷の少ない土壤管理法を明らかにした。

材料および方法

試験 1. 施肥資材，地表面管理方法による影響

1. ライシメーターの構造

山梨県果樹試験場内圃場の一角において，地表面下を一辺 2 m の正方形(面積 4m²)のコンクリートで仕切り，1.2 m の深さまで砂壤土質の沖積土壌(粘土 17.5%)を充填した(第 1 図，第 1 表)。



第 1 図 ライシメーターの構造

第 1 表 供試土壌の性質

土性	pH(H ₂ O)	置換性陽イオン (mg · 100g ⁻¹)			CEC (me · 100g ⁻¹)	塩基飽和 度 (%)	可給態リン酸 (mgP ₂ O ₅ · 100g ⁻¹)	全炭素 (%)	全窒素 (%)
		CaO	MgO	K ₂ O					
SCL	7.1	299.8	50.9	6.8	11.9	112.3	2.9	0.31	0.023

降水や灌水は土壌中を浸透し底部の容量 100 L の受容器に集まる。浸透水中に含まれる硝酸態窒素を測定すれば、窒素成分の溶脱状況が明らかになる。

1997年(以下、'97年等と記載)12月に各ライシメーター枠内にモモ2年生‘白鳳’各1樹を各区3樹反復で植栽後、'02年までの5年間栽培した。その後、'02年11月に各区1樹を伐採し、一部を試験2に移行したため'03年は各区2樹反復で試験を継続した。なお、刈草、摘果した幼果、夏季剪定枝は枠内に留め、収穫果と冬季剪定枝は枠外に持ち出した。

2. 試験区の設定

1) 施肥区

窒素の溶解特性が異なる3種類の施肥区を設定した。LP区は緩効性肥料として被覆尿素肥料LPコート70号(N40%)、尿素区は即効性肥料として尿素(N45%)、配合区は県内主産地のモモ栽培農家が慣行的に使用する有機配合肥料の東山梨モモ1号(N7.5%, P₂O₅6.7%, K₂O6.5%, MgO2.4%, CaO 1.4%:窒素分の52%が硫酸由来、残りは魚粕、菜種粕等の有機物)をそれぞれ窒素源として用いた。LP区でLPコート70号を用いた理由は、窒素溶出特性がモモに適しているからである⁶⁾。

LP区、尿素区ではリン酸、カリ、苦土の不足分を重過リン酸石灰、硫酸カリ、硫酸苦土で補い、配合区に合わせた。LP区、尿素区において'98年から'01年まで消石灰を施用したが、土壌pH(H₂O)が7以上の高い値が続いたため、'02年以降は施用を中止した。栽植密度50本・10 a⁻¹とし、3年生まで山梨県標準施肥量4 kg・10 a⁻¹に従い、窒素施肥量80 g・枠⁻¹とした(第2表)。面積換算量よりも樹齢による必要量に配慮して決定し、その後は樹冠拡大に合わせて増量した。

施肥は全量基肥として11月に施用したが、尿素区では冬期間中の窒素溶脱を考慮し、尿素のみ半量を11月に施肥し、残りは3月上旬に追肥した。また、'02年と'03年は樹勢維持のため、礼肥として窒素30gに相当する施肥資材を施用した。LP区は、LPコート40号、尿素区は尿素、配合区は発酵鶏ふん(N3.3%, P₂O₅4.6%, K₂O1.8%, MgO1.1%, CaO11.7%)をそれぞれ施用した。

試験は基肥施肥が各年の区切りとなるので、前年12月から当年11月までを各年の調査期間として結果を集計した。

2) 地表面管理法

各施肥区について、草生栽培または清耕栽培により地表面を管理した。草生栽培は雑草草生として開始した。2年経過後の'00年4月に草の生育を安定化するためにメヒシバ種子を1 g・枠⁻¹播種した。草刈りは草丈30 cmを目安に年間4~5回実施し、刈草は枠内に均等に放置した。清耕栽培は草の生育状況に応じて順次除草した。

第2表 各施肥区の施肥成分総量(g・枠⁻¹)

栽培年	成分	LP区	尿素区	配合区
'98-'99	N	80	80	80
	P ₂ O ₅	71	71	71
	K ₂ O	69	69	69
	MgO	26	26	26
	CaO	160	160	19
'00-'01	N	120	120	120
	P ₂ O ₅	107	107	107
	K ₂ O	104	104	104
	MgO	38	38	38
	CaO	160	160	23
'02-'03	N	180	180	183
	P ₂ O ₅	134	134	180
	K ₂ O	130	130	153
	MgO	48	48	64
	CaO	0	0	167

基肥の施肥は栽培年の前年11~12月に実施した。収穫後の礼肥は栽培年の施肥量に含めた。

3. 降水量および灌水

場内の気象観測装置により降水量を記録した。灌水は笛吹川沿岸土地改良区の提供水を用いた。'98年~'99年は無灌水、'00年~'03年はドリップ灌水を樹齢と天候を考慮しながら適宜全試験区に実施した。'01年~'03年には概ね3月下旬、5月中旬、8月中下旬、9月中旬に6~20 mm日⁻¹の灌水を3~5日実施した。

なお、本試験とほぼ同期内に測定した降水および灌水中の硝酸態窒素の平均濃度は、0.6 mg・L⁻¹、0.2 mg・L⁻¹であった⁷⁾。

4. 浸透水および土壌分析

浸透水中の陰イオン(NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻)はイオンクロマトグラフ法(カラム Shin-pack IC-A3)、陽イオン(Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺)とPは、ICP発光分光法(ジャーレルアッシュ社製 IRIS Advantage)で測定した。

土壌は, 毎年施肥前の10月中旬に, 内径35 mmのステンレス製土壌採取管を用いて1樹あたり樹冠下4カ所から表層より深さ10 cmごとに分けて3層から採取した。採取した土壌は風乾後, 土壌分析に供した。土壌成分分析は常法⁸⁾に従った。可給態リン酸がトルオーグ法, 全炭素, 全窒素の分析は全自動元素分析装置(パーキンエルマー社製2400型)を用いた。

5. 樹体生育および果実品質調査

栽植1年後の'99年より1月下旬に高さ5 cmの位置の幹周を測定した。同時に樹高, 横幅長, 縦幅長を測定し, 樹冠容積(横幅長×縦幅長×樹高/6)を求めた。これらは調査日前年の生育結果とした。栽植2年目の'99年より7月下旬の収穫期において3回に分けて全果実を収穫し, 糖度, 果実重, 収量を求めた。

統計解析はStatcel3⁹⁾を用いた。

試験2. 樹間部の施肥・地表面管理法の検討

モモ園内における通路等, 栽培樹冠下でない部分の施肥管理を検討するために5年間栽培後の'02年11月に各区1樹を伐採し, その後2年間, 試験2の無栽植状態における窒素溶脱を調査した。残った試験樹は2樹反復で調査を行い, 試験1の各'03年の調査結果と試験2の栽植状態における調査結果とした。

施肥は, 植栽樹の有無, 草生栽培・清耕栽培にかかわらず, '03年は第2表の設定としたが, '04年は全試験区で'03年のLP区と同様の施肥とした。

その他の管理方法, 分析方法は試験1と同様

に実施した。

結果

試験1. 施肥資材, 地表面管理方法による影響

1. 水管理の収支

植え付け直後の'98年は根系拡大や樹体生育による葉面積が不十分であり, 排水率は71%と高かった(第3表)。その後は調査年により流入総量は変動したが, 排水率は50%程度であった。年間降水量が1,000 mm以下で比較的乾燥状態が続いた'99年, '02年においても排水総量は極端に少なくはならず, 流入水量の約半量に相当する浸透水が排水した。'03年の排水率は66%と高かったが, 7月の平均気温が21.7°C(平年24.5°C)と低い冷夏であり葉表面や土壌表面からの蒸散が抑制されたためと考えられる。

各ライシメーターの蒸散量を, (流入総量-浸透水量)から求めた。この蒸散量は葉表面等樹体だけでなく草表面, 土壌表面からの蒸散量を含めたライシメーター全体からの蒸散量を示す。各調査年の蒸散量は12月~2月, 3月~5月,

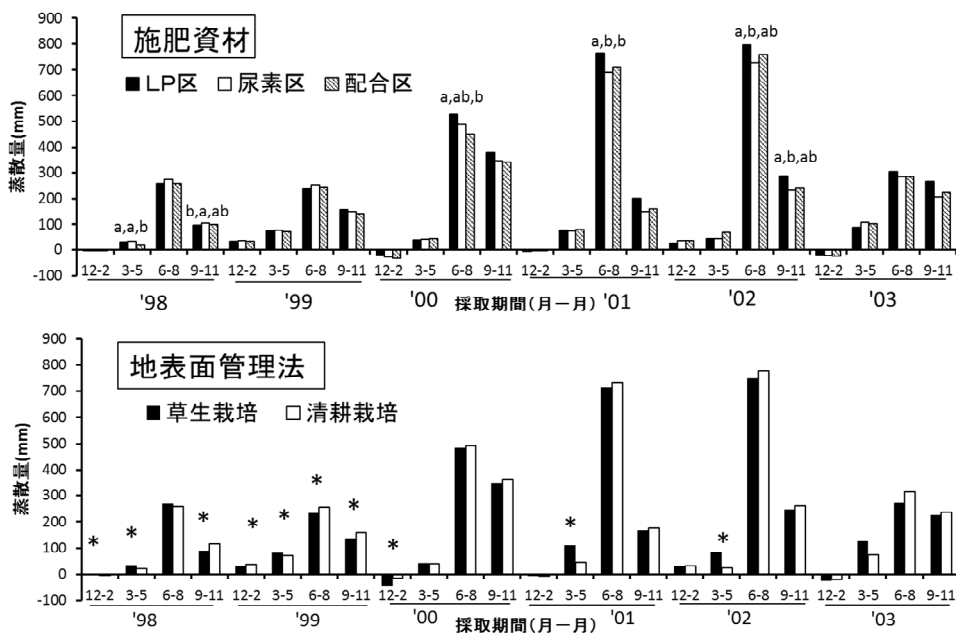
第3表 各調査年における水収支(全処理区の平均値)

	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04
降水量(mm)	1365	974	1224	1185	908	1329	1194
灌水量(mm)	0	0	206	955	1196	420	660
流入総量(mm)	1365	974	1430	2140	2104	1749	1854
浸透水量(mm)	976	466	649	1102	951	1148	803
排水率(%)	71.5	47.8	45.3	51.5	45.2	65.8	43.3
毎年の収支期間: 施肥後の前年12月~当年11月							
実際の水量(L・株 ⁻¹)=水量(mm)×4で換算							

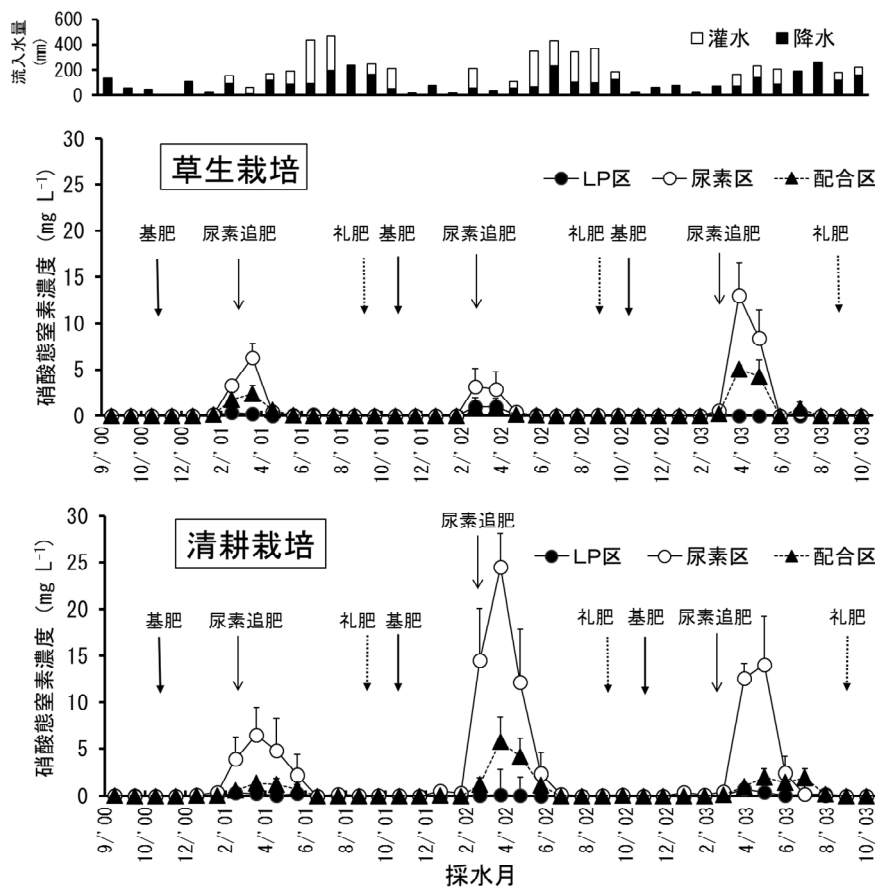
第4表 各試験区における年間窒素溶脱量(g・株⁻¹)

調査年	'98		'99		'00		'01		'02		'03	
	溶脱量(g)	溶脱率(%)	溶脱量(g)	溶脱率(%)	溶脱量(g)	溶脱率(%)	溶脱量(g)	溶脱率(%)	溶脱量(g)	溶脱率(%)	溶脱量(g)	溶脱率(%)
N施肥量(g)	80		80		120		120		180		180	
施肥資材												
LP区	16.6	20.8	0.2	0.3	0.0	0.0	0.4 b	0.3	0.1 b	0.1	0.4	0.2
尿素区	19.2	24.0	0.1	0.1	0.0	0.0	6.4 a	5.3	12.9 a	7.2	15.4	8.6
配合区	17.9	22.4	0.1	0.1	0.1	0.1	2.1ab	1.8	2.4ab	1.3	3.5	1.9
地表面管理法												
草生栽培	14.1b	17.6	0.2	0.2	0.1	0.1	2.1	1.7	1.2b	0.7	6.1	3.4
清耕栽培	21.8a	27.3	0.1	0.1	0.0	0.0	3.9	3.2	9.1a	5.1	6.8	3.8
交互作用	ns		ns		ns		ns		ns		-	

施肥資材(3水準)×地表面管理法(2水準)の2元配置分散分析を行い, さらに要因別にTukey-Kramer法による多重比較検定を行った異なるアルファベットは危険率5%で有意差あり ns: 有意差なし



第2図 施肥資材と地表面管理法による蒸散量への影響
異なる符号間, *印は危険率5%で有意差あり(Tukey-Kramer法)



第3図 浸透水中硝酸態窒素の月別平均濃度の推移('00年9月~'03年10月)
縦線は標準誤差の上限範囲を示す

6月～8月, 9月～11月の4期間別に集計した。集計値は施肥資材(3水準)×地表面管理法(2水準)の2元配置分散分析を行なった。危険率5%で要因間に交互作用が認められなかったため、さらに要因ごとに Tukey-Kramer 法による多重比較検定を行なった。反復を2樹に減らした'03年の結果について統計解析は行わなかった。

施肥資材と地表面管理法を要因ごとに集計した結果は第2図のとおりである。各調査年において施肥資材や地表面管理法に関係なく気温が高い6月～8月間の蒸散量が最も高かった。この期間蒸散量は、年間蒸散量の4～7割に相当し、初夏から盛夏期の水管理の重要性を示している。6月～8月間における蒸散量は樹齢経過とともに増加したが、冷夏の'03年には低下した。気温が低い落葉期以降の蒸散量は極めて低く、12月～2月間においては調査年によりマイナス値として算出されることもあった。これは降雨や灌水の後、浸透水が深さ1.8mの位置の排水口に達するのに要する3～7日間の時間差による。

施肥資材による影響は、LP区において'00年以降6月～8月間, 9月～11月間の蒸散量が清耕栽培で有意に高くなった。LP肥料施肥により生育が良好となり葉面積が増加した影響と推測される。

地表面管理法による影響は、3月～5月間の草生栽培において蒸散量が高く、発芽前から4月の発芽期以降の葉面積が少ない状態においては、草の水分吸収量による蒸散への影響が大きいと判断された。6月以降は清耕栽培において新梢伸長が良好で葉面積が大きいため、蒸散量も多かった。以上の様に地表面管理による蒸散量は気温に大きく影響されるが、樹や草の葉面積によっても影響を受ける。葉面積は生育時期により増減があるため、本試験の範囲内では年間の合計蒸散量は草生栽培と清耕栽培の間では大きな差はなかった(第2図)。

2. 施肥成分の溶脱

植栽直後の'98年は、根群の伸長が始まる前の1月中旬に降水量100mm程度の大雪に遭遇以降、年間降水量は1,365mmと多かった(第3表)。さらにライシメーターへの土壌搬入作業に伴う攪

乱による土壌窒素の無機化も想定され、年間窒素溶脱量は14～22g・枠⁻¹(溶脱率17～27%)と高めであった(第4表)。「99年以降は樹冠や根系の拡大とともに窒素吸収が盛んとなり、「99年、「00年の窒素溶脱量は何れの試験区でも0.2g・枠⁻¹(溶脱率0.3%)以下と極めて低かった。「01年からは灌水量を本格的に増やしたため窒素溶脱量は増加した。冷夏の'03年は灌水は控えたが、降水により浸透水量が増加し、窒素溶脱量も多かった。それでも、「01年以降の溶脱量は最大15g・枠⁻¹(溶脱率9%)程度であり、「98年よりも低かった。各施肥資材区の溶脱率は、溶解性の高い尿素を主体とした尿素区で最大9%、硫酸を含む配合区では最大2%であった。緩効性の被覆尿素肥料によるLP区では最大0.2%とほとんど溶脱しなかった。地表面管理法では'01年、「02年は清耕栽培で溶脱量が高く、差は認められた。しかし'98年を除くと全般に溶脱率は低く、試験年によっては有意差が認められるもののその差は小さかった。

ライシメーター浸透水中の硝酸態窒素濃度は11月の施肥後の冬季期間内には極めて低く、3月の灌水や降雨による土壌浸透水の増加とともに3～6月にかけて上昇した(第3図)。特に、溶解性の高い尿素を用いた尿素区では、硝酸態窒素濃度が急激に上昇した。他の資材区では低く、LP区ではほとんど溶脱しなかった。7月以降は低下したが、樹の養分吸収が良好となり土壌に残る窒素量が減少し溶脱量も少なくなったと考えられる。地表面管理法では草生栽培において上昇のピークが低く、溶脱量がさらに少なかったことを裏付けていた。

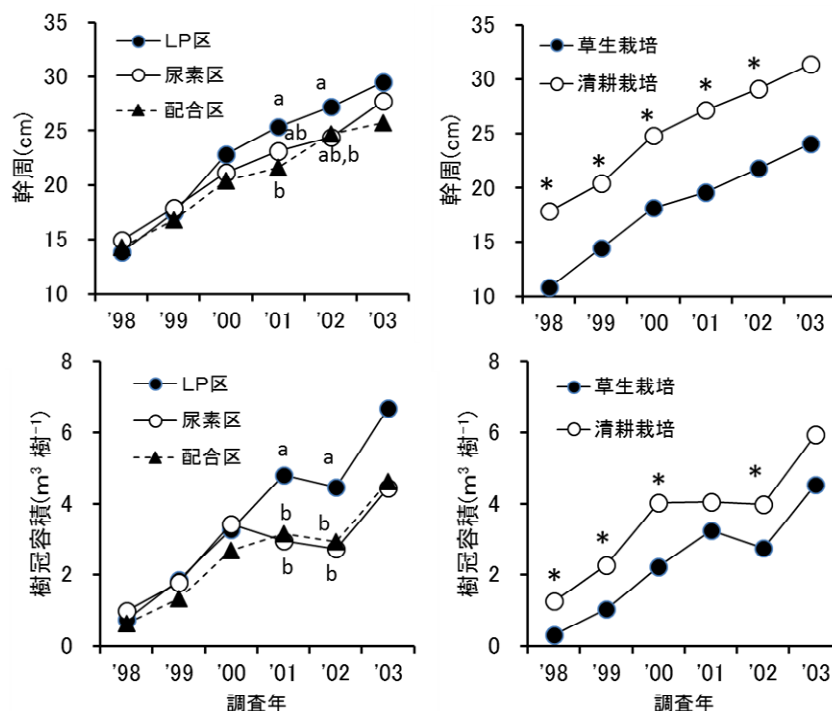
窒素以外の成分ではSO₄²⁻, CaO, MgO, Na₂Oの溶脱量は多く、Cl⁻, K₂Oは比較的少量であった(第5表)。

第5表 窒素以外の成分の年間溶脱量(g・枠⁻¹)

	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CaO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O
平均値	22.5	244.4	288.8	10.8	111.0	64.6
最大値	74.5	381.7	540.5	16.9	198.8	114.9
最小値	6.7	152.5	125.7	5.9	46.1	30.0

Cl⁻, SO₄²⁻ は'98年～'03年の平均値

CaO, K₂O, MgO, Na₂O は'99年～'01年の平均値



第4図 施肥資材と地表面管理法による樹体生育への影響
異なる符号間, *印は危険率5%で有意差あり(Tukey-Kramer法)

3. 樹体生育, 果実生産

蒸散量の場合と同様に2元配置分散分析を行ない, さらに多重比較検定を行なった. 試験樹の幹周は栽培樹齢の経過とともに増加した(第4図). 同時に施肥資材による影響は徐々に明瞭化し, '00年以降はLP区>尿素区≧配合区の関係にあった. 地表面管理法の影響では栽培1年目の'98年から明らかに清耕栽培において草生栽培より幹周が大きかった. 樹冠容積も樹齢経過とともに概ね拡大したが, 施肥資材では明らかにLP区が大きく, 尿素区, 配合区は劣っていた(第4図). 地表面管理法では栽培初年目の'98

年から試験期間をとおして清耕栽培において草生栽培より樹冠の拡大が良好であった.

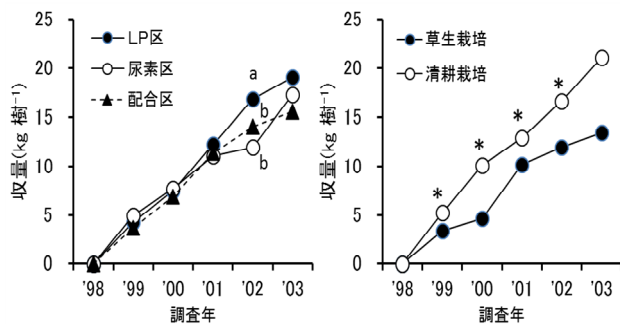
幹周と樹冠容積の経時変化から, 施肥資材の種類よりも地表面管理法による樹体生育への影響が大きく, 草生栽培では清耕栽培に比べて1.5~2年生育が遅れると判断される.

収量は樹齢とともに増加し, 施肥資材による影響は幹周や樹冠容積と同様にLP区で最も高く, 尿素区, 配合区ではやや劣る傾向にあった(第5図). 地表面管理法による影響は結実初年目の'99年から清耕栽培の収量は草生栽培より大幅に高いままで増加した.

第6表 各施肥区における果実品質

	'99		'00		'01		'02		'03	
	果実重(g)	糖度(°Brix)	果実重(g)	糖度(°Brix)	果実重(g)	糖度(°Brix)	果実重(g)	糖度(°Brix)	果実重(g)	糖度(°Brix)
施肥資材										
LP区	203.7	12.3 b	183.9	13.5	189.0 a	14.4	204.0	13.0	171.2	11.7
尿素区	196.0	12.4ab	187.9	12.8	170.3ab	14.0	207.4	13.1	176.9	11.7
配合区	192.6	13.2 a	193.4	12.8	160.0 b	14.5	210.7	13.5	176.9	11.8
地表面管理法										
草生栽培	195.1	12.8a	168.5b	13.2	170.2	13.9b	213.8	13.2	183.6	11.8
清耕栽培	199.8	12.4b	208.3a	12.9	176.0	14.7a	200.9	13.1	166.4	11.7
交互作用	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-

施肥資材(3水準)×地表面管理法(2水準)の2元配置分散分析を行い, さらに要因別にTukey-Kramer法による多重比較検定を行った. 異符号は危険率5%で有意差あり ns:有意差なし



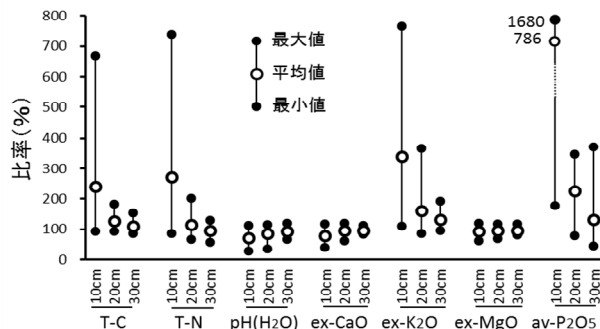
第5図 施肥資材と地表面管理法による収量への影響

異なる符号間, *印は危険率5%で有意差あり(Tukey-Kramer法) 収量も樹体生育と同様に施肥資材の影響より地表面管理法による影響が大きく, 3~7年生時の草生栽培では清耕栽培より収量が2~5割低下し, 1~2年増加は遅れると判断された。

果実品質では全般に果実重は160~210g, 糖度は11.5~14.0° Brixと小玉で高糖度の傾向にあった(第6表)。収穫期直前から収穫期にかけて7月の晴天が多く, 乾燥状態が続いた'01年は糖度が14° Brix以上と高く, 果実重は160~190gと小玉傾向にあった。反対に同期間に曇雨天が多く日射量が少なかった'03年の糖度は12° Brix以下と低かった。また, '00年の清耕栽培においては草生栽培より2倍の収量とともに果実重も203gと高く, 生産性の高い状態を維持していた。しかし, 試験期間全般を見渡すと施肥資材あるいは地表面管理法と果実重あるいは糖度との間に一定の傾向は認められなかった。果実品質に関しては, 天候や収量調整等の諸管理が複雑に影響していると考えられた。

4. 土壌成分含量

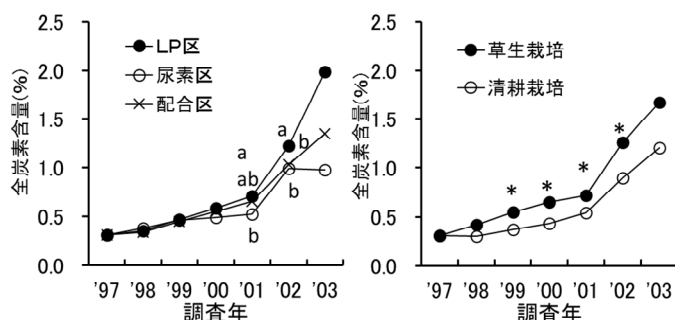
各土壌分析値は調査期間の進行とともに変動した(第6図)。全炭素, 全窒素, 置換性カリ含



第6図 調査期間内における各土壌分析値の変動

試験開始時の分析値を100として変動幅を示す pHは変動幅が小さかったため変動幅を10倍に拡大して表示した

量, 可給態リン酸含量は最大で6倍以上増加した。一方, 置換性カルシウム含量は漸減し最大で5割, 置換性マグネシウム含量も同様に最大割減少した。pH(H₂O)は置換性カルシウム含量の減少に伴い最大1.0程度低下した。これらの成分値の増減は深さ0~10cmから採取した土壌(10cm土壌等と表記)で著しく, 20cm土壌, 30cm土壌ではわずかな変動幅に留まった。



第7図 施肥資材と地表面管理法による土壌中全炭素含量への影響 深さ0~10cmの土壌分析値

異なる符号間, *印は危険率5%で有意差あり(Tukey-Kramer法)

10cm土壌中の全炭素含量は栽培期間の経過とともに増加した(第7図)。施肥資材における全炭素含量の増加は, LP区>配合区≧尿素区の順序であった。ライシメーター内では刈草の他に, 摘果に伴う幼果, 夏期剪定枝等が土壌表面で一部は分解するが難分解性部分は全炭素含量の一部として土壌に残る。刈草のない清耕区でも有機物が補給され, 土壌炭素は増加した。LP区では草と樹の生産総量が最も増加し, 土壌に残る量も増加したと考えられる(第7表)。一方, 地表面管理法では両管理法において栽培年数の経過に従い全炭素含量は増加した。特に, より大量の有機物が土壌に生産供給される草生栽培において, 全炭素含量の蓄積は進行した。

第7表 各施肥区における年間草刈総量 (新鮮重kg・株⁻¹)

試験区	'00	'01	'02
LP区	12.2 a	13.8 a	19.7 a
尿素区	8.3 b	9.2 b	14.3 a
配合区	10.0 ab	10.8 ab	14.0 a

異なる符号間は危険率5%で有意差あり (Tukey-Kramer法)

試験2. 樹間部の施肥・地表面管理法の検討

1. 水管理の収支

冷夏の'03年は植栽状態のライシメーターからの蒸散量は抑えられ、年間を通しての排水率は草生栽培、清耕栽培の両方においてほぼ66%と高かったが、地表面管理法による排水量への影響はなかった(第8表)。同年の無植栽状態のライシメーターではモモ樹葉面からの蒸散がないため浸透水量が増加し、排水率は84%以上と植栽状態より上昇した。草生栽培では清耕栽培よりも排水率が低下したが、無植栽状態では日当たりが良好となり草の生育量が増加したうえ、葉温が上昇した結果、蒸散量が増加したと考えられる。

翌年の'04年は6月から8月にかけて平年よりやや高めの気温で経過したため蒸散量が増加し、植栽状態のライシメーターにおける排水率は43%とやや低めであった。前年同様、無植栽状態の草生栽培では排水率が低下した。

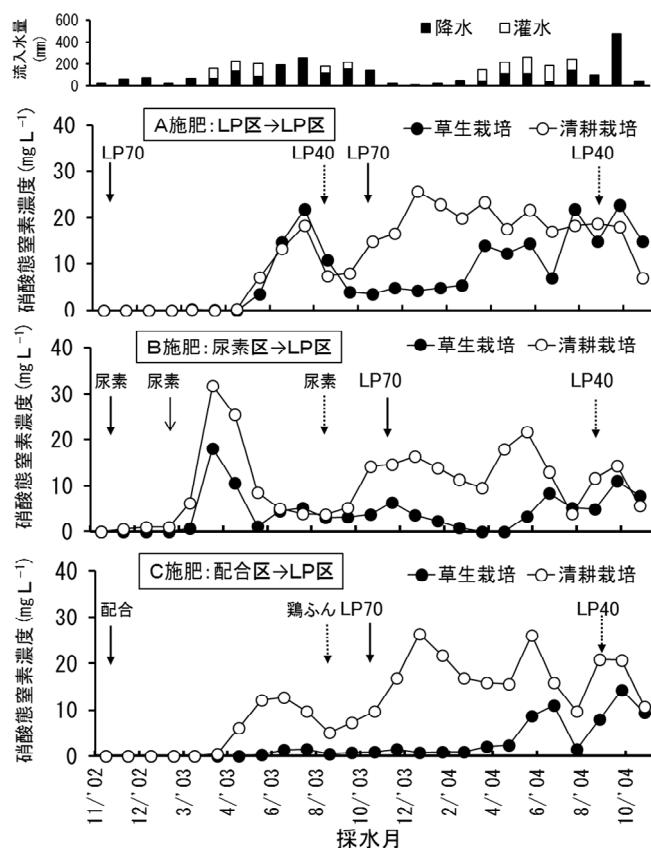
第8表 植栽樹の有無、地表面管理法による排水率への影響
調査年

植栽樹の有無	地表面管理法	調査年	
		'03	'04
植栽	草生栽培	66.0±1.4	42.7±0.4
	清耕栽培	65.6±1.3	43.9±2.6
無植栽	草生栽培	84.1±0.4	79.2±0.4
	清耕栽培	92.7±1.3	87.2±1.2

平均値±標準誤差(n=6(植栽), n=3(無植栽))を表示 排水率の単位: %
流入総量 '03年: 1,749mm=1,329mm(降水量)+420mm(かん水量)
'04年: 1,854mm=1,194mm(降水量)+660mm(かん水量)

2. 施肥窒素成分の溶脱

無植栽状態の3種類の施肥区では何れも施肥直後の'03年3月まで浸透水中の硝酸態窒素濃度は低く抑えられていたが、4月以降はB施肥区('03年尿素区, '04年LP区), C施肥区('03年配合区, '04年LP区), A施肥区('03年LP区, '04年LP区)の順序で濃度が上昇し、9月には低下した(第8図)。これは資材の溶解度に応じて窒素成分が溶出・分解後、硝酸となり浸透水中に溶脱したためである。清耕栽培では9月以降再び浸透水中の窒素濃度は上昇し、'04年秋まで高い状態が続いた。草生栽培では清耕栽培に比べて濃度が低く抑えられた。第3図で示した植栽状態の3施肥区の'01年~'03年の平均濃度は清耕栽培



第8図 無植栽部における浸透水中硝酸態窒素の月別平均濃度の推移 ('03年1月~'04年10月)

培で $1.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、草生栽培で $0.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ であった。一方、第8図で示した無植栽状態の3施肥区の'03年~'04年の平均濃度は、清耕栽培で $11.6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、草生栽培で $5.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ であった。無植栽状態の浸透水中の硝酸態窒素濃度は清耕栽培、草生栽培ではともに約10倍の高濃度を示した。

ただし、A施肥区の'03年5~8月の期間や3施肥区の'04年7月以降は、草生栽培においても浸透水中の窒素濃度は $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上の高濃度で推移した(第8図)。この時期は前年11月に施用した被覆尿素肥料の肥効が本格的に現れる期間である。植栽状態で被覆尿素肥料を施肥しても、地表面管理法に関係なく窒素溶脱は常に極めて抑制された(第3図)。一方、無植栽状態では被覆尿素肥料を用いた場合、草生栽培しても時期によって浸透水中の窒素濃度は低下しなかった。雑草に対してどの程度の窒素施肥量が適切かは不明であるが、モモ樹の植栽状態と同等な窒素施肥量では養分過剰となり地表面管理法

第9表 栽植の有無による窒素溶脱量の違い(g・枠⁻¹)

	'03	'04	落葉～開花期
無植栽状態			
草生栽培	24.5	49.4	2.8
清耕栽培	52.8	98.3	13.2
有意性	$p=0.067$	*	*
植栽状態			
草生栽培	6.1	0.2	0.1
清耕栽培	6.8	1.7	0.9
有意性	$p=0.559$	*	*

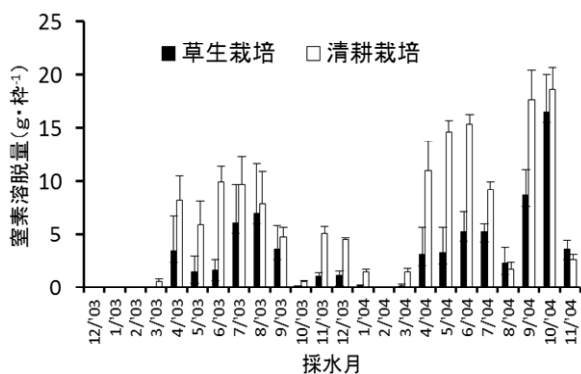
*はt検定により5%有意差あり 年間施肥窒素量180g・枠⁻¹
 採取期間 '03:'02年12月～'03年11月
 '04:'03年12月～'04年11月
 落葉～開花期:'03年10月～'04年3月

による窒素溶脱抑制への影響が縮小したものと推測している。

植栽状態における年間の窒素溶脱総量は3施肥区の平均値として'03年は6~7g・枠⁻¹(溶脱率約4%), '04年は2g・枠⁻¹(溶脱率1%)以下と低かった(第9表)。草生栽培と清耕栽培を比較すると, '04年には清耕栽培が有意に高かったが, どちらも低い溶脱率を示したことには違いがない。

一方, 無植栽状態において窒素溶脱量は大幅に増加した。特に, 清耕栽培では'03年が53g・枠⁻¹(溶脱率29%), '04年は53g・枠⁻¹(同55%)と多く, 平均すると植栽状態の10倍以上の窒素が溶脱した。しかし, 草生栽培では'03年が25g・枠⁻¹(同14%), '04年は49g・枠⁻¹(同27%)と清耕栽培の半分に低減した。

さらに無植栽状態において'03年11月から'04年3月の秋季の落葉後から春季の開花期までの期間にかけて清耕栽培では浸透水中の硝酸態窒素濃度が平均20mg・L⁻¹程度と高濃度であった



第9図 無植栽状態における月別窒素溶脱量
 各地表面管理における3施肥区の平均値
 縦線は標準誤差の上限範囲(n=3)

が, 草生栽培では何れの施肥区においても硝酸態窒素濃度が5mg・L⁻¹以下に抑制された(第8図)。窒素は4月から8月の期間を中心に溶脱した。冬季を中心した葉のない期間は蒸散量が低下するため, 降水量が少なくても大量の灌水は実施しない。'03年10月から'04年3月の6ヶ月間の流入総量(灌水量60mmを含む359mm)は, 4月から9月の間の流入総量の1/3以下と少なかったが, 窒素成分の浸透水中への溶脱は認められた(第9表)。実際に溶脱した窒素成分量は清耕栽培では13.2g・枠⁻¹であったが, 草生栽培では2.8g・枠⁻¹と溶脱は抑制された。ただし, '04年10月は降水量が474mmと平年値の25倍と極端に多かったことから, この期間内の草生栽培においてもライシメーターへ流入する水量が多くなり, 清耕栽培の場合と変わらない窒素成分量が溶脱した(第9図)。

考 察

1. 被覆尿素肥料の有効性

溶解性の高い尿素を用いた試験区では生育初期に降水量や灌水量の増加に伴い, 溶脱率が上昇した。一方, 被覆尿素肥料や有機配合肥料を用いた試験区からの窒素溶脱は極めて少量であった。供試した有機配合肥料は慣行肥料として使われるもので容量比60%の有機物を含む他, 窒素成分の52%に相当する硫酸を含んでいる。しかし, 施肥資材間の溶解性の差による窒素溶脱量の違いは認められても溶脱量自体は予想外に大きな違いはなかった。モモ樹を植栽した状態での施肥窒素の溶脱率は, 植え付け直後を除くと平均1.8%, 3種類の施肥資材の中で最も高い尿素区においても10%以下であり, すでに報告されている窒素溶脱率¹⁰⁾の5~44%に比べてかなり低かった。

今まで実施された果樹のライシメーター試験結果を検討すると, 樹冠の拡大が不十分な幼木樹をライシメーターに植栽した場合や, 冬季に降雪量が多い地域の試験の場合には硝酸態窒素が施肥量の半量程度まで溶脱される傾向にあった^{11, 12)}。本試験で用いたライシメーターは一辺

が 2 m の正方形で面積 4 m² と狭く、しかも供試土壌は物理性が良好な砂質土であったためモモ樹は幼木時から生育が旺盛になり根域が急速に拡大したため、その後は窒素溶脱率が予想以上に低く推移したと考えられる。確かに梅宮¹⁰⁾が示したようにライシメーター試験は根域や植栽条件が圃場と異なるので施肥効率が変化し窒素溶脱率が影響されたと推測するが、養水分の挙動に関してはコンパクトな比較検討が可能であった。

3 種類の施肥資材の中では被覆尿素肥料が、窒素吸収が良好で樹体生育や果実生産性の面から最も有望であった。被覆尿素肥料は溶解性の高い尿素を特殊加工して緩効化した資材で、対象樹種の養分吸収特性に合った製品を根の近くに局所施用すれば高い窒素利用率が可能となる¹³⁾。これらは理解されても、尿素自体は化学合成資材でありモモ用肥料の有機物重視の潮流に馴染まない点、配合肥料原料を想定した際にペレット化が困難な点、元々施肥は基肥を中心に 1~2 回であるため省力化につながり難い点等が理由となり果樹の分野での普及は進んでいない。しかし、樹体生育や収量等の生産面を考慮すると、LP 区において最も良好であったので被覆尿素肥料の導入はモモ樹の環境面、生産面を考慮した施肥を進めるうえには十分に検討に値する。最近、果樹においてもカンキツ等導入可能な分野での検討が進んでおり、今後の進展が期待される¹⁴⁾。

被覆尿素肥料の施用で留意すべき点は、被覆尿素肥料を施用すれば常に作物への窒素吸収量が増加し、溶脱率が低減するとは限らないことである。シバ、ナガイモ、ナシに被覆肥料を施用しても窒素溶脱量は慣行肥料と同等か増加することさえあった¹¹⁾。被覆尿素肥料は作物の養分吸収特性に一致するものを選択し、慣行に対して 20% 減肥等やや施肥量が少なめにした際に窒素溶脱抑制効果を発揮しやすい⁶⁾。

2. 草生栽培の利用

草生栽培の利点として、果樹園内における有機物生産と地力増進、土壌表面被覆による土壌浸食防止と地温調整、窒素養分の吸収保持と溶

脱抑制、過剰な窒素肥効の抑制等¹⁵⁾があげられる。この他に機械化が進む現代ではスピードスプレーヤーなど大型機械の降雨後における走行性向上や重要草刈り機による草管理の簡便化も新たな利点として追加される。

何れにしても、硝酸態窒素の環境負荷が社会的な関心を集めている今日では、窒素を中心とした養分の吸収率向上と溶脱抑制は特に注目される特性である。しかし、この特性は養水分競合と裏腹の関係でもある。今回の試験において草生栽培では窒素競合による樹体生育、果実収量への抑制は極めて大きかった(第 4 図, 第 5 図)。一方、窒素溶脱量、果実品質への影響は認められるものの大きな差ではなかった(第 4 表, 第 6 表)。この理由は、限られた範囲のライシメーター試験のため全体の窒素レベルが抑えられ、窒素過剰を軽減する効果が発現し難かったこともあると考えられる。

このような状況においても窒素競合の影響は明確に現れた。一般に、草生栽培における窒素競合は生育、収量、果実品質への影響が著しく、大きな課題である^{16,17)}。草生栽培リンゴ樹に対し通常の窒素施肥量の範囲であれば、施肥資材を増減しても窒素溶脱を抑制する効果は大差なかった¹⁸⁾。窒素競合緩和の手段として窒素肥料増肥の方法も考えられるが、環境保全の観点から安易に採用出来ない。現状の窒素競合対策としてはマメ科草種とイネ科草種の混播による窒素補給の他、除草剤利用や草刈り作業により樹冠周囲の幅 2.5~3 m を清耕管理する部分草生が提唱されている^{16,19)}。

草生栽培の実施にあたっては、果樹園土壌における窒素競合に配慮しながら上手に管理する必要がある。第 7 図で示した深さ別土壌中の炭素含量と容積比重から深さ 0~30cm 土壌に含まれる炭素総量を求めた(第 10 表)。炭素蓄積は地表面が中心となるので増加傾向は第 7 図とほぼ

第10表 草生栽培による土壌炭素蓄積効果

	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03
草生栽培	129	153	177	191	219	304	368
清耕栽培	129	132	145	157	173	254	298
有意差(5%)	—	ns	*	*	*	*	未検定

深さ0~30cm土壌中炭素総量(g m⁻²)

*印は危険率5%で有意差あり nsは有意差なし

同様である。草生栽培土壌と清耕栽培土壌の炭素量の差は刈草による炭素蓄積と考えられる。試験開始6年後の'03年には $70\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ に拡大し、平均すると年間では $11.7\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ に相当する。第7表より年間に平均 $3.1\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 程度の生草が得られる。生草中の水分含量70%, 炭素含量40%とすると、生草には $372\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ の炭素が含まれるので、刈草中の炭素のうち土壌に残存する量は 3.1% ($=11.7/372\times 100$)に過ぎない。生育した草の大部分は刈り取り後、土壌表面で分解し大気中に放出されたと考えられる。井上ら²⁰⁾はブドウ園地の有機物長期連用試験で設定した稲ワラ区において投入された炭素のうち土壌に残存した割合を6%とし、オーチャードグラスによる草生区ではさらに低いとした。この結果は本試験の結果と一致する。

3. 樹間部の適正管理

根群の分布する地点に集中的に施肥する部分施肥により養分利用率を高める考えは合理的である。しかし従来は主流の考えではなかった。果樹では幼木を除けば全面施肥が好ましいとされてきた。その背景には、養分吸収の主体となる新根は樹冠外周部に多い、リン酸は移行性が低いので土壌全面に施用すべきである、養分のあるところに根は伸びるので根系の拡大を図るためには主幹から離れた部分にも施肥が必要である、部分施肥は濃度障害の原因となりやすい、等の理由がある^{21, 22)}。全面施肥は施肥量が生産性主体で決定された時代の考え方であり、今日の環境保全性、経済性、省力性を重視する時代においては全面施肥から部分施肥、さらに進んだ局所施肥へ見直す必要がある。

同一モモ園内でもモモ樹の根系が分布する植栽部土壌と樹間等のモモ樹根系が到達していない無植栽部土壌の施肥管理は異なる。本試験においては植栽状態から無植栽状態に転換後、清耕栽培では施肥窒素量の30~60%に相当する窒素量が溶脱したが、草生栽培にすることにより半量に抑制された(第8図)。

草生栽培において、被覆作物を利用し窒素溶脱を抑制する技術についてJ. J. Meisingerらが総説²³⁾した。被覆作物を導入した圃場では硝酸

の浸透水中濃度と溶脱総量が被覆作物のない圃場に比べて20~80%低減する。被覆作物はマメ科植物よりもアブラナ科植物、イネ科植物、特にライグラスで効果が高いとした。今までにナシ¹¹⁾、モモ²⁴⁾、グレープフルーツ²⁵⁾、カンキツ²⁶⁾において、草生栽培における窒素溶脱量は清耕栽培の40%以下であると報告されている。本試験結果からも草生栽培における窒素溶脱量は清耕栽培の概ね50%以下に低下すると判断している。

山梨県内モモ園の基肥施肥は11月付近であり、冬季間は小雨で乾燥が続く、施肥後の窒素溶脱が頻繁に発生することは通常年であれば想定し難い。しかし、冬季間に降水量の多い地域も存在するうえ、近年では異常気象により大量の降雪・降雨に遭遇する頻度が高まっているので硝酸態窒素の溶脱に十分に注意する必要がある²⁷⁾。欧米における11月から5月にかけて湿潤な気候が続く地域では、作物体系と気候に応じて冬作物を選択し、土壌中の溶脱しやすい硝酸態窒素を作物に吸収させた後、春季に緑肥として再放出させ窒素溶脱を抑制しながら来季作物の初期生育を確保している²³⁾。本試験では、'03年10月から'04年3月までの期間において、イネ科雑草を主体とした草生栽培により通路等に相当する無植栽部分の窒素溶脱率は清耕栽培の21%に低減した(第9表)。実際の圃場において無植栽部は果実生産に関係しないので局所施肥によりこの部分への窒素施肥量を減らし、樹幹周囲に集中しても問題は少ないだろう。

本試験はライシメーターを用いたモデル試験である。樹間部の管理法については厳密な反復も取らず、試験期間も2年間と限られており、得られた結果にも限界があるかも知れないが、今後のモモ園における環境保全型施肥法を方向付ける知見が得られた。1番目は、根群が集中する樹幹周囲への局所施肥が窒素溶脱を抑制しながら生育を確保するのに有効な点である。2番目は、被覆尿素肥料が局所施肥に有効であり今後検討すべき資材と思われる点である。3番

目は、草生栽培では樹幹近辺の窒素競合が問題となるので部分草生を取り入れて管理すれば樹体生育を確保しながら、樹間部における窒素溶脱の抑制が可能となる点である。

摘 要

モモ園へ施肥した窒素成分が溶脱することにより周辺環境への負荷が懸念されている。そこで、ライシメーターを用い、施肥資材の違い、地表面管理法の違い、植栽樹の有無と窒素溶脱との関係について検討し環境にやさしい施肥法を明らかにした。

1997 年 11 月に 2 年生モモを場内ライシメーター(面積 4 m²)に栽植後、2004 年 11 月まで底部から浸透水を採取し、硝酸態窒素等成分量を測定した。施肥区は、被覆尿素肥料区(LP70)、尿素区、有機配合肥料区で、年間窒素施肥量は樹齢に応じて 80~180 g・株⁻¹とした。各施肥区は草生栽培または清耕栽培で管理した。草生栽培はイネ科雑草により地表面を被覆し、草刈りは 4~5 回・年⁻¹実施した。

1. ライシメーター浸透水中の窒素濃度は、全区で冬季間は 0.1 mg・L⁻¹以下であったが、尿素区では 3~7 月にかけて最大 14 mg・L⁻¹と上昇し、その後は樹の養分吸収が良好となり低下した。草生栽培や他の資材区では低く、特に被覆尿素区ではほとんど溶脱しなかった。
2. 年間窒素溶脱率は栽植直後の年には 17~27%とやや高かったがその後は 0.3%以下と極めて低かった。しかし、灌水量を増やした 2001 年以降、清耕栽培の尿素区で最大 9%、有機配合肥料区で最大 2%と上昇したが、被覆尿素肥料区では変わらず低く抑えられた。
3. 清耕栽培の被覆尿素区において幹周の肥大と樹冠の拡大は良好で樹体生育は促進され、施肥窒素の吸収効率が最も高いと考えられた。その結果、果実収量も多かった。
4. 樹間部の施肥管理を検討するために 2002 年 12 月から 2 年間、モモの無植栽ライシメーターにおいて、地表面管理法による窒素溶脱への影響を検討した。

清耕栽培では、無植栽状態における窒素溶脱量は植栽状態の平均 10 倍以上と多量であったが、草生栽培にすると窒素溶脱量は清耕栽培の 1/2 以下に低下した。

5. 以上より、窒素肥料、特に被覆尿素肥料によるモモ樹幹近くへの局所施肥、樹間部における草生栽培の活用により樹体生育を確保しながら窒素溶脱が抑制され、環境への負荷が軽減される。

引用文献

- 1) 山梨県 (2015). 新・やまなし農業大綱
- 2) 山梨県ホームページ (2016) 富士の国やまなしの魅力 山梨県の日本一.
- 3) 風間ふたば・米山 実 (2002). 山梨県における窒素負荷発生量と地下水汚染状況. 環境科学誌 15. 293-298.
- 4) 中村高志・長田淑美・風間ふたば (2008) 水素・酸素および窒素安定同位体組成からみた甲府盆地頭部地下水の涵養源と硝酸イオン濃度分布特性. 水環境学誌. 2. 87-92.
- 5) 小林 浩・興水達司・尾形正己岐 (2010). 甲府盆地飲用水中の硝酸性窒素濃度推移. 全国環境研究会誌 35. 59-66.
- 6) 古屋 栄 (1995). 肥効調整型肥料による施肥技術の新展開 4. 果樹の被覆肥料施用技術. 土肥誌 66. 574-580.
- 7) 山梨県立山梨高等学校生物・化学部. (1999) 甲府盆地東部における酸性雨調査その 6. 山梨県自然科学研究集録.
- 8) 土壤環境分析法編集委員会編(1997). 土壤環境分析法. 博友社.
- 9) 柳井久江(1998). 4Stepsエクセル統計 第3版オーエムエス出版.
- 10) 梅宮善章(2004). 果樹園の施肥に由来する窒素負荷の現状, 園学研, 3, 127-132
- 11) 神野雄一(2000). 畑地における窒素溶脱に関する研究. 鳥取園試特別報 6. 1-77.
- 12) 渡辺 毅(1991). ウメの収量, 品質の向上

- に関する栄養生理学的研究. 福井園試特別報 1. 1-113.
- 13) 金田吉弘(1992). 低湿地重粘土汎用水田における水稻の不耕起及び部分耕移植栽培. 農業技術 47. 215-219.
- 14) 三堂博昭・石川 啓(2016), ‘宮川早生’ ウンシュウミカンにおける肥効調節型肥料を用いた効率的年1回施肥法, 園学研, 15, 145-152.
- 15) 千葉 勉(1982). 土壌(地表面)管理. 果樹園の土壌管理と施肥技術47-80. 博友社
- 16) Tworzoski, T. L. and D. M. Glenn(2008). Orchard Floor Management Systems. The Peach: Botany, Production and Uses 332-350. CAB International
- 17) Glenn, D. M. and W. V. Welker(1996). Sod Competition in Peach Production: I Managing Sod Proximity. 666-669. J. Amer. Soc. Hort. Sci.
- 18) Stevenson, D. S. and G. H. Neilsen(1990). Nitrogen Additions and Drainage in Orchard-type Irrigated Lysimeters. 11-19. Can. J. Soil Sci.
- 19) Glenn, D. M. and W. V. Welker(1996). Sod Competition in Peach Production: II Establishment Beneath mature Trees. 670-675. J. Amer. Soc. Hort. Sci.
- 20) 井上博道・梅宮善章・草場新之助・杉浦裕義(2012). 有機物長期連用ブドウ園地の土壌中全炭素濃度と全窒素濃度の経年変化. 土肥誌 83. 687-690.
- 21) 福田 照(1959). 実験栽培桃編養賢堂.
- 22) 石原正義(1991). 17 施肥. 果樹園芸大事典(第2時訂正追補). 211-247, 養賢堂
- 23) Meisinger, J. J. and *et al*(1991). Effects of cover crops on groundwater quality. Cover crops for clean water 57-68. Soil and Water Conserv. Soc.
- 24) 加藤公道・星保宣・安部充・齋藤広子(2002). モモ園における地表面管理が土壌水分の動態並びに樹体の生育, 収量及び果実品質に及ぼす影響. 福島果試報 19. 55-104.
- 25) Wiedenfeld, B., L. B. Fenn and *et al*(1999). Using Sod to manage Nitrogen in Orchard Floors. 353-363. Commun. Soil Sci. Plant Anal.
- 26) 吉川公規・高橋哲也(2005). 草生栽培によるカンキツ園の土壌および施肥窒素の流亡抑制効果. 静岡柑橘研報 34. 7-13.
- 27) 小松喜代松・佐藤雄夫・佐々木生雄(1982). 果樹園における初冬施用窒素の溶脱と土壌の物理性との関係. 福島果試報 10. 35-45.

Effects of Nitrogen Fertilizers, Floor Management Systems, and Peach Tree Planting on Nitrogen Leaching from Lysimeter Soil

Sakae FURUYA, Noriyoshi SAITO¹ and Takahiro TEZUKA

Yamanashi Fruit Experiment Station, Ezohara, Yamanashi 405-0043, Japan

Current address:

¹Yamanashi Agricultural Department, Kofu, Yamanashi, Japan

Summary

It is undesirable that N leached from fertilizers applied to peach orchards affects environments in the surrounding areas. For that reason, this study investigated the effects on N leaching depending on nitrogen fertilizers, floor management systems, and tree planting to reveal ecological fertilizing methods.

Two-year-old peach trees were planted in lysimeters with an area of 4 m² installed in a field in November 1997. The infiltrated water was sampled at the outlet equipped on the bottom until November 2004, and the nitrate N contents were determined. Coated urea fertilizer (LP70), urea, and organic mixed fertilizer were examined. The annual amounts of N were set from 80 g to 180 g per lysimeter according to the age of the trees. On a sod culture, gramineous weeds covered the ground and were mowed four or five times a year.

1. During the winter season, the N concentrations of leachate from each fertilizer were less than 0.1 mgL⁻¹. Though the N concentrations from urea suddenly rose to a maximum of 14 mgL⁻¹ from March to July, they decreased after the peak because of a lack of N after excellent absorption to the trees. Under sod culture conditions using other fertilizers, especially a coated urea fertilizer, the amounts of leached N were extremely small.

2. In the first year after planting, the annual ratios of leached N, ranging from 17% to 27%, were rather high. In the second year, the ratios fell drastically to less than 0.3%. However, after increased water irrigation in 2001, the annual ratios of leached N from urea and organic mixed fertilizer on the clean culture increased. The annual ratios of leached N from coated urea fertilizer remained low.

3. Coated urea fertilizer on the clean culture promoted increased trunk girths and canopy volumes. The tree grew well. Its absorption efficiency of fertilized N was the highest among the three fertilizers. It followed from those results that coated urea fertilizer enabled the highest yield.

4. To investigate methods of appropriate management of trees using unplanted lysimeters, N leaching was measured from December 2002 for two years. On a clean culture, the amounts of leached N rose in the unplanted condition to more than ten times that of those in the planted condition. However, the amounts of leached N on the sod culture decreased to less than half that of those on a clean culture.

5. The above results indicate that local fertilization with N fertilizer, especially coated urea fertilizer, and the sod culture at the spots between trees not only minimize N leaching but also reduce the impact on the environment without inducing competition between trees and weeds in peach orchards.