

茨城県中央地域ナシ園の土壌、地下水および施肥実態

藤田 裕・折本善之

The Actual Soil, Groundwater and Fertilizer Application Conditions of a Japanese Pear Orchard in the Central Area of Ibaraki Prefecture.

Yutaka FUJITA and Yoshiyuki ORIMOTO

Summary

We investigated the actual fertilizer application and soil conditions of Japanese pear orchards, and studied the effect of the fertilizer application on the environment. The percentage of farms in which the amount of fertilizer application exceeded the standard application rate of fertilizer was: 73% in N fertilization, 100% in P fertilization, and 80% in K fertilization. The level of N fertilization correlated with the yields. In the 100cm deep range, soil nitrate nitrogen concentration was higher in the subsoil than in the surface soil. The concentration of nitrate nitrogen in the groundwater exceeded environmental standards in all 19 orchards. The nitrate nitrogen concentration in the groundwater and the nitrate nitrogen concentration in the soil had high correlation, and the highest correlation in the 5th layer. The relation between the nitrate nitrogen concentration in the groundwater and the amount of N fertilization was not clear.

キーワード：ニホンナシ，施肥実態，地下水，硝酸性窒素

I. 緒言

一般的に、ニホンナシは窒素施肥量が多い (Hiraoka and Umemiya, 2000)。その背景は高樹齢による生産量低下を補ったり、大玉生産と多収を期待してのこととされている (梅宮, 2004)。過剰な窒素の施肥は硝酸性窒素の溶脱増加を引き起こし、地下水などの環境に影響を与える恐れがある。本県においても、畑作台地の浅層地下水中の硝酸性窒素濃度は果樹地帯(ナシ)で高い (松本ら, 1994) ことが指摘されている。硝酸性窒素・亜硝酸性窒素は、平成11年2月に「地下水の水質汚濁に係る環境基準 (10mg/L以下)」に格上げされ、農業からの汚染の可能性が高いが、農耕地からの汚染が面源負荷であり汚染源が特定し難い状況にある。

しかし、農業が環境と調和した産業であるためには、農業サイドからの自発的な負荷削減対策を講じる必要がある。具体的には、作物の吸収量に応じた効率的な

施肥法や有機物由来肥料成分を考慮した施肥法など、環境保全のための適切な土壌管理法の開発が望まれている。そのため、ナシ園の施肥実態および土壌、地下水等について基礎的な資料が必要である。

そこで、ナシ園の施肥、土壌および地下水の実態調査を行い、施肥が収量、土壌および地下水に及ぼす影響について検討した。

II. 材料および方法

1. アンケート調査

土壌肥培管理の実態を把握するため、土壌および地下水調査園のナシ栽培農家を対象に、ナシの施肥に関するアンケート調査を2001年10月～12月に実施した。ナシ農家13戸に対し、平年の収量(‘幸水’), 樹齢, 地表面管理, 施肥位置, 肥料の種類, 施肥量, 施肥時期, 堆肥の入手先, 堆肥の種類, 堆肥施用量, 堆肥施用時期について戸別に聞き取りした。また、施用され

た堆肥について、肥料成分量の推定値を下記の割合(伊達・塩崎, 1997) (土壌・作物栄養診断マニュアル, 1997) で算出した。

発酵鶏糞：N：P₂O₅：K₂O= 1.4：3.2：1.6 (現物%)

豚糞堆肥：N：P₂O₅：K₂O= 2.1：4.9：1.3 (現物%)

牛糞堆肥：N：P₂O₅：K₂O= 1.3：2.3：0.8 (現物%)

生鶏糞：N：P₂O₅：K₂O= 1.7：1.6：1.9 (現物%)

2. 土壌および地下水調査

調査地域の地形は、西側に標高300m程度の山があり、その山麓および山麓から続く台地に農村集落がある。中央部の低地に水田が広がっており、西側から東側に水の流れがある。中央部と比較して北側と南側はやや高く、この部分にナシを含む果樹園が団地化している。このうちナシ園はとくに南側に多くある。

調査は、この地域における表層腐植質黒ボク土(桜統)ナシ園22ヶ所について実施した(図1)。

土壌断面調査は2002年1月17日に、代表的な1園について実施した。深さ150cmの試坑を掘り、層別に土色、土性、ジビリジル反応、斑鉄の様子について調査した。150cm以下についてはハンドオーガー(直径7cm, 大起理化)を用いて300cmまでボーリングし、採取した土壌を同様に調査した。

供試土壌は、園の対角線上3点において、深さ20cmごとに採土し、うち2点については40cmまで、また1点についてはハンドオーガーを用いて1mまで行った。採取した土壌について、下記の項目を分析した。

pH (KCl)：ガラス電極法, EC：1:5水浸出法, 可給態リン酸：トルオーグ法, 交換性石灰・苦土・カリ：原子吸光光度法, 水溶性塩素イオン・硫酸イオン・亜硝酸イオン・硝酸イオン：イオンクロマト法

地下水は、ハンドオーガーを用いて2mまでボーリングし、浸出した不圧地下水を採取し、下記の項目を分析した。なお、地下水は、22園中19園において採取できた。採取した地下水について、下記の項目を分析した。

pH：ガラス電極法, カルシウムイオン・マグネシウムイオン・カリウムイオン：原子吸光光度法, 塩素イオン・硫酸イオン・亜硝酸イオン・硝酸イオン；イオンクロマト法, 炭酸水素イオン：酸消費量 (pH4. 8) 換算値

なお、土壌および地下水は2001年10月15日～25日に採取した。

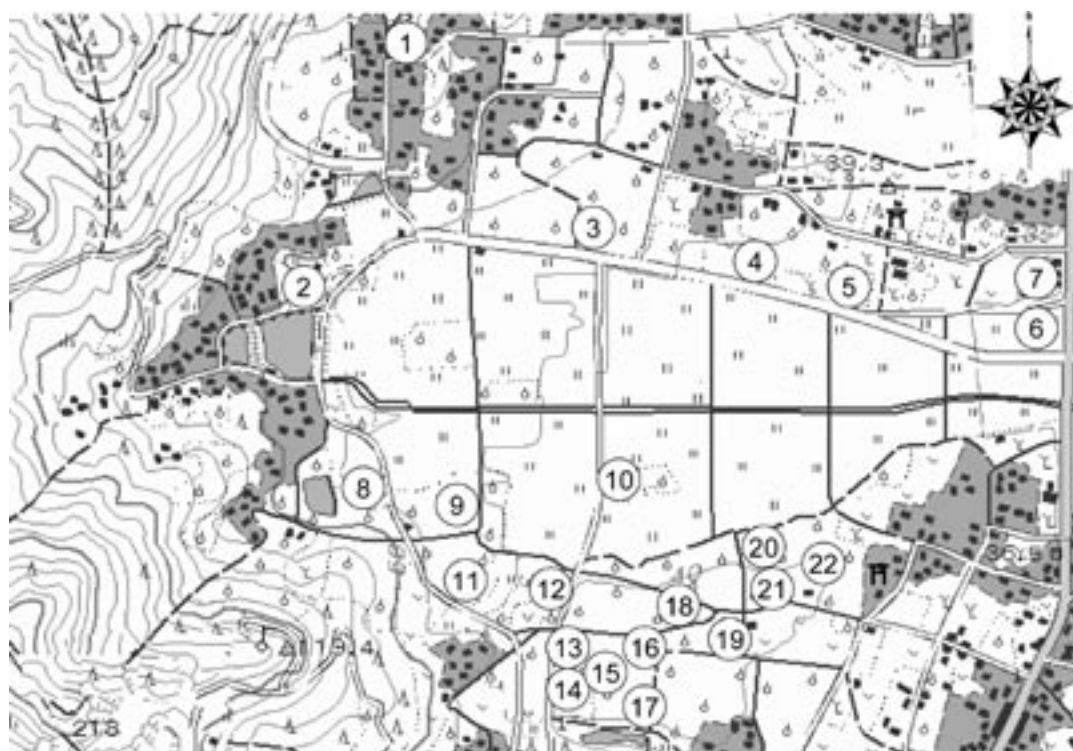


図1 調査地域の地形

注) ○は調査地点を示し、数値は調査園番号を示す。

Ⅲ. 結果および考察

1. アンケート調査

1) 収量，樹齢，施肥位置，地表面管理

調査地域の平均収量は 23.2t/ha であった。22.0t/ha 以下の園が 53% を占め、調査したほとんどの園で県の基準収量 30t/ha 以下であった。樹齢は、25 年生以上の園が 80% であり、ナシ園の高樹齢化が認められた。一般的に樹齢が進むと樹勢が弱くなり収量が低下するといわれているが、樹齢と収量について相関は認めらず、この地域においてナシ園の高樹齢化による収量の低下傾向は明確ではなかった。施肥位置は、すべて表層施肥で、全面散布が 64% であった。施肥量が少ない園は株元に局所施肥する傾向にあった。地表面管理については、草生管理が 87% であり、その大部分は雑草草生であった。

2) 施肥時期

本県果樹栽培基準における施肥時期は、基肥が 11 月から翌年 2 月まで、1 回目の追肥が 5 月上旬、2 回目の追肥が 6 月上旬である（果樹栽培基準、2003）。アンケート調査の結果によると、基肥施肥

時期は、11 月が 66% であり、すべての園で 12 月までに施用されていた。収穫期までの追肥時期について、1 回目は 3 月に施用する園が 53% であった。2 回目は 5 月に施用する園が 53% であった。追肥は 3 回目まで行う園が 60% であり、4 回目の追肥をする園は少なかった。

3) 施肥実態

本県のニホンナシ施肥基準は‘幸水’草生栽培の場合、化学肥料は、窒素 300kg/ha、リン酸 200kg/ha、カリウム 200kg/ha である（果樹栽培基準、2003）。

窒素は、460～500kg/ha 施用している農家が最も多く 27% あり、平均施肥量は 390kg/ha であった。リン酸は、260～300kg/ha 施用している農家が最も多く 33% あり、平均施肥量は 390kg/ha であった。800kg/ha 以上施用している農家も 6.7% あった。カリウムは平均施肥量が 290kg/ha であった（図 2）。基準以上の施肥を行っている農家数は窒素成分が全体の 73%、リン酸成分が 100%、カリウム成分が全体の 80% であった。

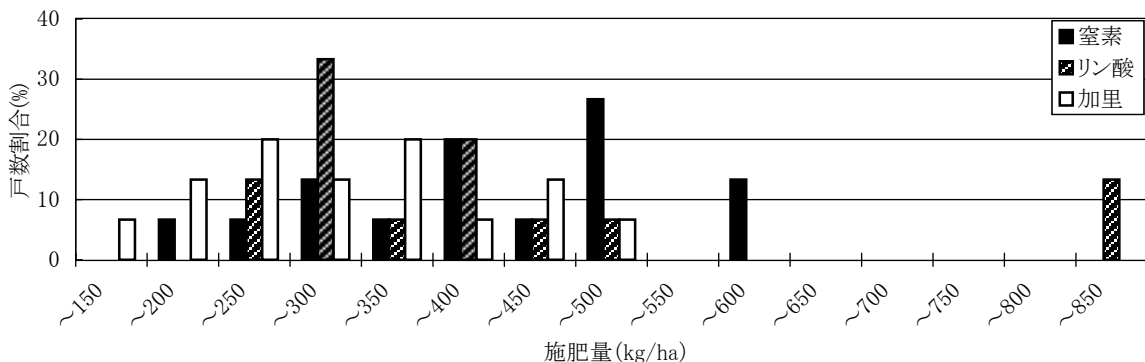


図 2 県中央地域ナシ園における施肥量の頻度分布

4) 堆肥の施用実態

本県果樹栽培基準における有機物施用基準は、地力維持のため堆肥又はその他の有機物を施用する（果樹栽培基準、2003）として具体的な数値を示しておらず、有機物施用の推奨にとどまっている。

アンケート調査の結果、施用頻度については、隔年または毎年施用する農家が 87% で、この地域は堆肥を慣行的に施用している。堆肥は、購入が 85% で、自家生産が 15% であった。堆肥の種類は、発酵鶏糞が 69%、豚糞堆肥が 23% でこの 2 種類

が大半を占めた。施用量は、発酵鶏糞は 8t/ha から 30t/ha の範囲で、10t/ha が最も多く全体の約 31% で、平均値は 16.4t/ha であった。30t/ha 施用する農家も 12.5% あった。豚糞堆肥は 20t/ha 施用する農家が 3 戸あり全体の 23% であった（図 3）。

堆肥中の肥料成分量を算出し、その施用量の農家戸数割合を求めると、窒素について 410～450kg/ha が最も多く 40% であった。リン酸は、910～1000kg/ha が最も多く 40% であった。カリウムは、260～300kg/ha の農家が 40% あった。

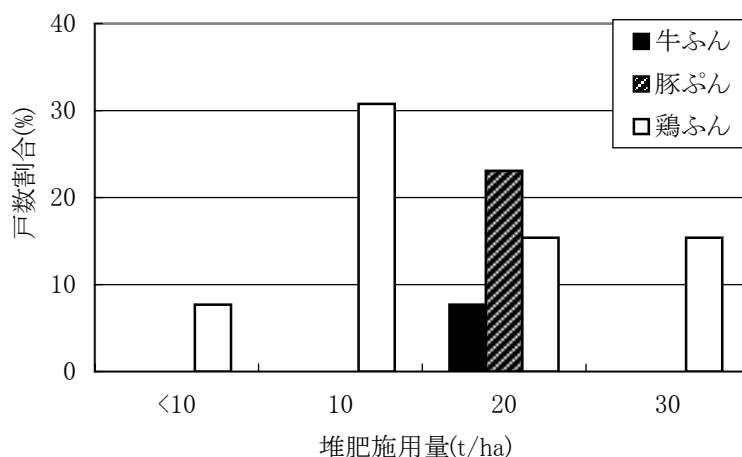


図3 県中央地域ナシ園における畜種別堆肥施用量の頻度分布

2. 調査園の土壌断面

調査園における代表的な土壌断面形態について図4に示した。斑鉄は地表面から240cmのところまで認められた。深さ240cmから認められる重埴土がこの地域の不透水層をなしていると推察されることから、不圧地下水はこの位置で横移動していると考えられる。

3. 土壌の化学性

土壌の化学性について、ニホンナシの主要根群域である0～40cmの各平均値を、土壌の改善基準（土壌・作物栄養診断マニュアル，1997）と比較して表1に示した。

pHについて、5.33～5.42の範囲で平均値5.38は改善基準値よりやや低い値であった。交換性カルシウムについて241～354mg/100gの範囲で平均値298mg/100g、交換性マグネシウムについて32.5～44.0mg/100gの範囲で平均値38.3mg/100gは、ともに改善基準値より低い値であった。可給態リン酸について8.1～42.4mg/100gの範囲で25.3mg/100g、交換性カリウムについて94.3～103mg/100gの範囲で平均値98.7mg/100gは、ともに改善基準値より高い値であった。

MgO/K₂O比は、ほとんどの地点で0.5以下であり、バランスが崩れていることから潜在的にマグネシウム欠乏となる可能性が高い。これはアンケート調査で明らかのように、カリウムの施肥量が多いことが影響していると考えられる。また、リン酸が0～40cmの表層において高い値を示したことについては、施肥量が基準以上に行われていることが影響していると考えられ

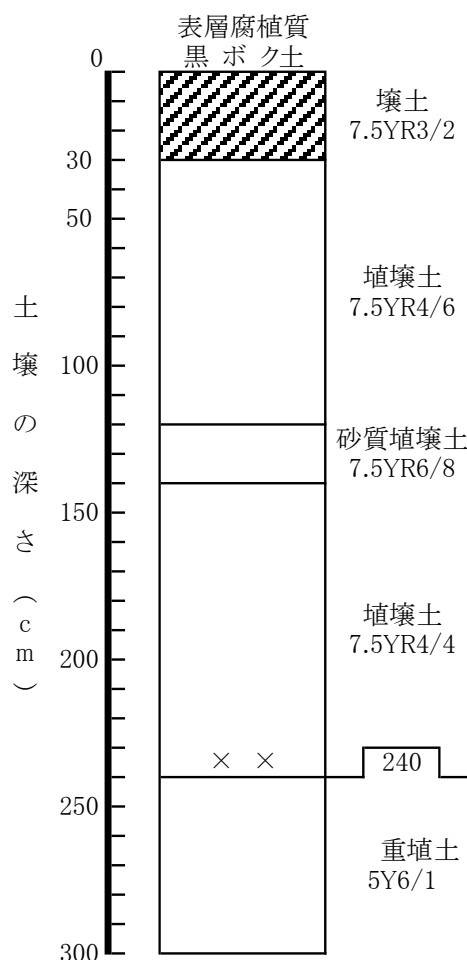


図4 調査園土壌の断面

土色はマンセル表色系に準じた新版標準土色帖により、色彩、明度／彩度の順に記載した。

る。土壤中のカリウムおよびリン酸含量が高い原因として、施肥の影響以外にも堆肥施用量が非常に多いことが影響していると考えられる。

また、EC、硝酸態窒素、塩素イオン、硫酸イオンの各平均値は、下層ほど増加の傾向を示した。特に硝酸態窒素は、0～20cmで2.4mg/100g、20～40cmで4.2mg/100g、40～60cmで7.2mg/100g、60～80cmで11.1mg/100g、80～100cmで13.1mg/100gと下層ほど高い値を示した。硝酸態窒素濃度が下層ほど高い値を示したことについて、土壤中に分布する肥料由来窒素の最大ピーク出現位置と積算降水量には

高い相関関係が認められる（小川，2000）ことから、土壤に吸着されにくい硝酸態窒素は降雨による土壤浸透水により下層へ溶脱したと考えられる。硝酸態窒素は、地表面から40cm程度といわれている主要根群域より下層に溶脱しており、また同様に肥料の副成分である塩素イオン、硫酸イオンも土壤浸透水により下層へ溶脱していることから、施肥窒素量が過剰である可能性が考えられる。堆肥についても、施用された堆肥の多くが肥効率の高い発酵鶏糞および豚糞堆肥であり、連年10～20t/ha程度施用されていることから、硝酸態窒素溶脱に影響を及ぼしていると推察できる。

表1 茨城県中央地域ナシ園土壤の分析結果

深さ		pH (KCl)	EC dSm ⁻¹	NO ₂ -N	NO ₃ -N	可給態 P ₂ O ₅	交換性			水溶性	
							CaO	MgO	K ₂ O	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
mg/100g											
0～20	平均値	5.42	0.204	0.2	2.4	42.4	353.7	44.0	102.7	2.4	24.9
	最大値	6.40	0.497	0.6	10.0	90.0	656.8	86.3	210.2	8.7	84.5
	最小値	4.30	0.079	0.0	0.3	10.1	125.2	12.4	30.0	0.5	1.3
20～40	平均値	5.33	0.250	0.3	4.2	8.1	240.8	32.5	94.3	2.2	35.0
	最大値	6.45	0.507	0.5	12.7	28.5	466.5	67.9	169.4	6.7	91.6
	最小値	4.49	0.102	0.0	0.4	2.3	106.8	12.8	33.9	0.4	13.7
40～60	平均値	5.66	0.314	0.5	7.2	4.1	259.3	37.8	99.9	4.1	36.3
	最大値	6.43	0.671	0.5	23.0	15.5	448.1	68.8	145.4	21.1	72.6
	最小値	4.67	0.092	0.5	0.4	2.0	93.7	17.7	41.1	0.5	12.3
60～80	平均値	5.94	0.383	0.2	11.1	3.3	255.7	41.0	93.2	6.3	35.9
	最大値	7.11	0.731	0.2	26.5	6.5	456.5	69.1	146.9	19.5	86.3
	最小値	4.49	0.112	0.2	1.2	1.6	77.7	16.8	28.7	0.5	16.6
80～100	平均値	6.07	0.419	0.8	13.1	3.9	243.0	44.3	85.5	7.6	37.0
	最大値	7.41	0.923	0.8	32.3	6.7	480.9	86.6	147.9	26.8	78.2
	最小値	4.17	0.119	0.8	1.5	2.2	74.6	17.9	20.4	0.7	17.0
主要根群域の 土壤の改善基準		5.5～6.0				10	380～ 420	47～60	47～60		

4. 地下水の化学性

ナシ園直下の不圧地下水の水質を表2に示した。pHは5.6～7.2で、農業用地下水質基準値（6.0～7.5）よりやや低い値であった。亜硝酸イオンはすべての地点で検出されなかった。硝酸性窒素濃度は、20.7～256mg/Lの範囲であった。19園すべてで、環境基準である10mg/Lを超えていた。炭酸水素イオンは3.0～123mg/Lと地点でのばらつきが大きかった。塩素

イオンは8.5～99.9mg/Lであった。硫酸イオンは24.4～255mg/Lであった。カルシウムイオンは35.7～277mg/Lであった。マグネシウムイオンは12.4～60.8mg/Lであった。カリウムイオンは0.1～153mg/Lと非常にばらつきが大きかった。ナトリウムイオンは2.4～27.3mg/Lとほかの元素と比較して低い値であった。

表2 茨城県中央地域ナシ園における不圧地下水の分析結果

園No.	水位 (m)	pH	NO ₃ -N	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	mg/L				
						SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
2	0.23	6.37	48.5	6.1	15.6	80.9	57.4	15.5	42.1	2.4
3	0.60	6.29	117.5	13.7	78.9	179.7	160.4	45.7	27.2	19.7
5	0.42	6.27	198.1	7.6	99.9	227.2	208.5	56.1	152.8	20.5
6	0.71	6.33	127.0	10.7	30.8	82.1	115.5	35.3	70.6	12.0
7	1.45	7.21	57.0	123.4	34.0	157.7	159.9	18.5	31.7	13.6
8	0.79	6.03	111.1	9.1	39.4	90.3	116.4	31.3	52.6	12.1
9	1.72	6.57	78.7	15.2	21.2	139.2	107.0	26.9	43.2	7.0
10	1.52	6.09	33.3	16.8	49.4	99.9	66.4	20.8	6.4	13.2
11	0.62	5.82	37.9	4.6	30.0	94.9	59.3	17.1	20.9	4.6
12	1.11	5.79	24.9	10.7	17.7	72.6	35.7	12.4	15.8	7.1
13	1.51	6.19	184.4	12.2	48.4	255.4	230.1	58.2	43.5	27.3
14	1.42	6.16	65.5	12.2	29.7	88.2	88.2	27.0	0.1	10.7
15	1.76	5.81	20.7	9.1	8.5	114.6	45.4	16.6	0.6	2.6
16	1.17	6.86	24.9	12.2	34.1	71.7	45.4	18.0	0.6	7.1
17	0.86	5.95	71.5	10.7	29.6	223.5	104.7	27.6	65.8	14.2
18	1.56	5.99	84.8	13.7	27.8	164.6	110.2	38.2	—	22.3
20	1.71	5.89	201.2	4.6	67.1	45.3	217.2	45.0	10.5	12.8
21	2.00	5.82	256.0	4.6	92.3	67.1	276.7	60.8	1.5	18.3
22	1.56	5.64	98.5	3.0	56.5	24.4	114.0	26.2	5.3	9.1
平均値	1.20	6.16	96.9	15.8	42.7	120.0	122.0	31.4	32.8	12.4
最大値	2.00	7.21	256.0	123.4	99.9	255.4	276.7	60.8	152.8	27.3
最小値	0.23	5.64	20.7	3.0	8.5	24.4	35.7	12.4	0.1	2.4
変動係数	42.17	6.2	69.2	162.4	58.7	52.7	55.6	47.4	111.5	53.3

注) —：検出限界以下

5. 施肥窒素量と収量の関係

施肥窒素量と収量の関係は、施肥窒素量と施用堆肥中窒素成分量が多いほど収量が多い傾向があった(表3)。

一方で、施肥量の多少が収量に及ぼす影響は少ない(植田ら, 2000), また施肥量が多くなると収量が低下する傾向がある(石塚ら, 1969)という報告がある。

ニホンナシの収量は窒素施肥量だけでなく剪定や着果管理なども大きく影響することから、施肥窒素量と収量の関係を明らかにするためには十分な検討が必要であると考えられる。

さらに、ニホンナシ‘幸水’の地上部窒素吸収量は樹冠面積1㎡当たり13g(折本ら, 2003), すなわち樹冠面積1ha当たり窒素130kgである。アンケート調査による窒素施肥量は平均390kg/haであり、さらに堆肥由来窒素成分を考慮すると窒素の供給量は吸収量を大きく上回ることから、余剰量は増大すると予想される。また窒素施肥に対して収量と果実糖度は相反する傾向であると推察される(鈴木ら, 1996)ことから、収量だけでなく環境や品質を考慮した窒素施肥量の設定が必要である。

表3 施肥窒素量と収量の関係

	収 量	基肥窒素	追肥窒素	施肥窒素	堆肥窒素	窒素(施肥+堆肥)
収量	—					
基肥窒素	0.649**	—				
追肥窒素	0.505*	0.548**	—			
施肥窒素	0.646**	0.850**	0.906**	—		
堆肥窒素	0.423	0.080	0.344	0.257	—	
窒素(施肥+堆肥)	0.657**	0.534*	0.749**	0.741**	0.839**	—

注) 単相関 * : 5%有意, ** : 1%有意, n = 13

6. 地下水の硝酸性窒素と土壌の硝酸態窒素との関係

地下水硝酸性窒素濃度と土壌硝酸態窒素濃度の相関は、下層ほど高くなり80～100cmで最も高かった。地下水中硝酸性窒素濃度は土壌80～100cmの硝酸態窒素濃度が高いほど上昇する傾向を示し、相関は非

常に高く統計的に有意であった(図5)。土壌化学性調査から土壌硝酸態窒素は浸透水の影響で下層へ溶脱していると考えられ、下層土壌の硝酸態窒素が地下水硝酸性窒素濃度に影響を及ぼしていると考えられる。

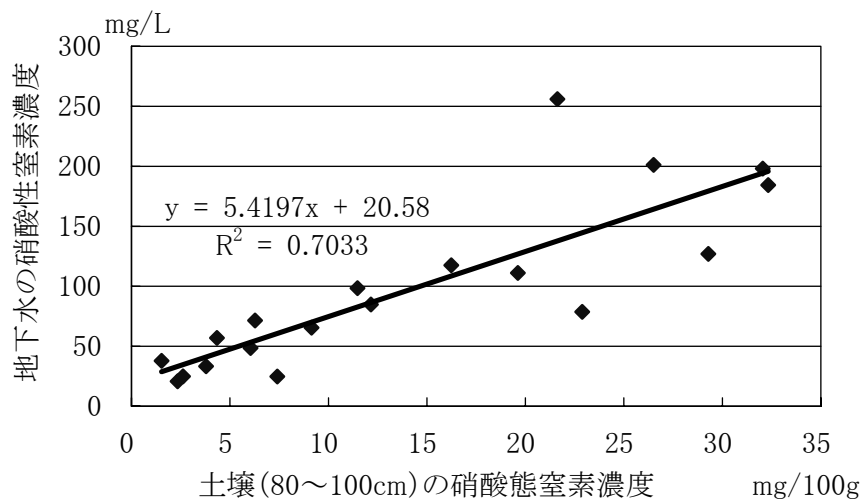


図5 県中央地域ナシ園における下層土壌(80～100cm)の硝酸態窒素濃度と地下水の硝酸性窒素濃度の関係

7. 施肥窒素量と地下水の硝酸性窒素濃度の関係

ナシ園における施肥窒素量とナシ園直下の地下水硝酸性窒素濃度について、施肥および堆肥由来窒素量と地下水硝酸性窒素濃度との間に関係は認められなかった。

また、地下水の水質組成をキーダイヤグラムで図6に示した。一般的な不圧地下水は、 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ や $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ により構成されるためI型にプロットされるが、調査園から採取した地下水19サンプルはすべてIII型にプロットされた。自然環境下の地下水にお

いて硝酸イオン、硫酸イオンおよび塩素イオンは少ない(平田編著, 1996)ことから、もともとI型であった地下水に対して、地表から人為的に硝酸イオン、硫酸イオンおよび塩素イオンが供給され、それらが増加したためにIII型に移行したと考えられる。

調査地域は、掘り鉢状の地形を呈しており、居住地域よりも低い位置にナシ園が位置している。地下水の硝酸性窒素濃度が高い地点では塩素イオン濃度も高く(表2)、一般的に塩素イオンは生活系または下水系の混入により増加することから、供試地下水の硝酸性窒

素はナシ園における施肥以外に生活系排水の影響を受けていると考えられる。さらに、地下水の硝酸性窒素濃度は調査地域東側で高くなる傾向を示したことから(図7)、地下水はナシ園の施肥や生活系排水の影響を受けながら調査地域東側に移動している可能性が示唆された。

一方で、この地域を一つの農業集水域として捉えらると、ナシ園よりさらに低地に水田がある地形であり、一般に高地から低地に水の流れが生じ、畑地の浅層地下水の多くは水田に湧出すると考えられる。水田は水稻による窒素吸収と土壌の還元に伴う微生物による脱窒作用により、高い窒素浄化機能を有している(小川, 1998)ことから、ナシ園直下において硝酸性窒素濃度の高い値を示した地下水は水田を通過することにより浄化され、この集水域から系外に排出される水の窒素濃度はさほど問題のないレベルまで低減していると考えられる。

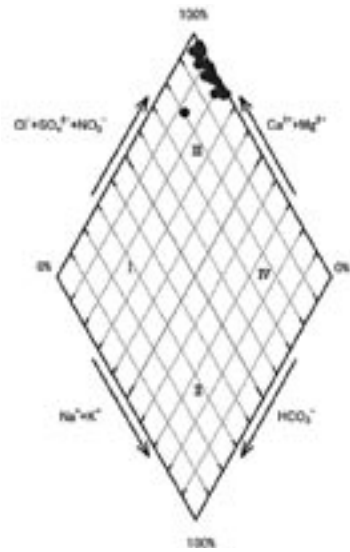


図6 県央地域ナシ園における地下水の水質組成

- I型 炭酸塩硬度 (Carbonate Hardness)
- II型 炭酸アルカリ度 (Carbonate Alkalinity)
- III型 非炭酸塩硬度 (Non-Carbonate Hardness)
- IV型 非炭酸アルカリ度 (Non-Carbonate Alkalinity)

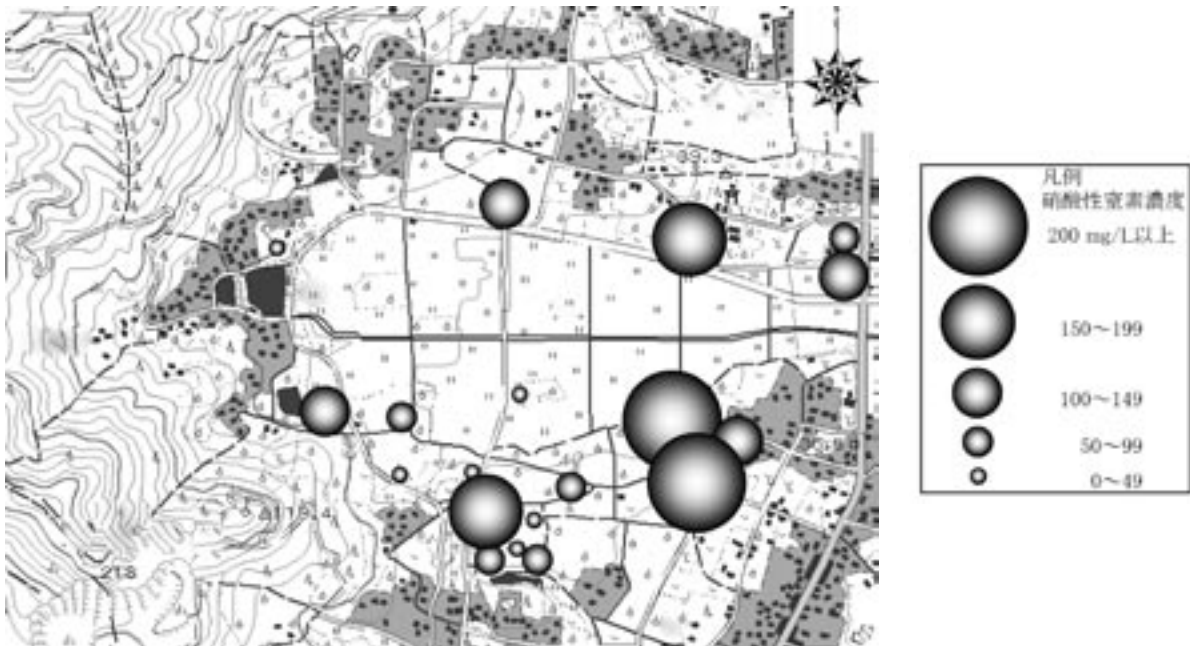


図7 県央地域ナシ園における地下水中硝酸性窒素濃度の分布

IV. 摘要

ナシ園土壌の施肥実態を調査し、また施肥が環境に及ぼす影響について検討した。

1. 施肥基準と比較して、窒素成分超過農家割合は73%、リン酸成分超過農家割合は100%、カリウム成分超過農家割合は80%であった。

2. 施肥と収量の関係は、施肥窒素量が多いほど収量が増加する結果であった。

3. 土壌硝酸態窒素濃度は、深さ100cmの範囲で下層ほど高い値を示した。

4. 地下水中硝酸性窒素濃度は、調査した19園すべてで環境基準を超過した。

5. 地下水硝酸性窒素濃度と土壌硝酸態窒素濃度は、

下層ほど相関が高く、80～100cmで最も相関が高かった。

6. 地下水中硝酸性窒素濃度と窒素施肥量の関係は、明確でなかった。

謝 辞 調査遂行にあたって協力いただいた方々、および本研究のとりまとめにあたってご助言いただいた茨城県園芸研究所長小川吉雄氏に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 伊達昇・塩崎尚郎. 1997. 肥料便覧第5版. pp. 211 - 214. 農文協. 東京.
- 土壌・作物栄養診断マニュアル. 1997. pp. 84 - 85. 茨城県農林水産部農業技術課.
- Hiraoka, K and Umemiya, 2000. Estimation of nitrogen, phosphorus and potassium in relation to chemical fertilizer application in Japanese orchard fields. JARQ. 34:87-92.
- 平田健正 (編). 1996. 土壌・地下水汚染と対策. pp135. 社団法人日本環境測定分析協会. 東京.
- 石塚由之・小松鋭太郎・南雲光治. 1969. 茨城農研研報. 3: 39 - 50.
- 果樹栽培基準. 2003. pp. 40 - 41. 茨城県農業総合センター.
- 松本英一・平山力・青木武・小山田勉. 1994. 畑作地帯の浅層地下水水質の実態. 茨城農研研報. 1: 63 - 78.
- 小川吉雄. 2000. 地下水の硝酸汚染と農法転換. pp. 85 - 86. 農文協. 東京.
- 小川吉雄. 1998. 地形連鎖を活用した地域の水質浄化. 農園. 73 (1): 225-229.
- 折本善之・武井昌秀・小山田勉. 2003. 日本ナシ '幸水' と '二十世紀' の地上部新生器官における窒素吸収特性の比較. 土肥誌 74:203-206.
- 鈴木智久・山田健悦・亀和田國彦. 1996. ナシ園黒ボク土壌の実態と果実の収量・品質との関係. 栃木農試研報. 44: 15 - 23.
- 植田稔宏・広沢勇・根本実継. 2001. 第116回茨城県土壌肥料研究会発表要旨.
- 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 (2): 127 - 132.