三要素試験の調査報告（第1報）

三要素肥料のリンゴ樹体内成分に及ぼす影響

長井晃四郎・清藤盛正・桜田　哲・鎌田長一
（青森県りんご試験場）

Investigations on the long-term fertilizer trial. I.

Nutritional status of Ralls trees in the long-term NPK fertilizer trial at Kuroishi

KOUSHIRO NAGAI, MORIMASA SEITO, SATOSHI SAKURADA and CHOICHI KAMADA
(Aomori Apple Experiment Station)

目　次

I 緒　　言

リンゴは多年性の作物であり，また，根の分布が深いため，1年性作物に比べて施肥に対する反応は著しく鈍いとされている。施肥に関する試験研究は，わが国でも，また海外においても多数行なわれているが，土壌，栽培などの諸条件が異なるため，これらの成績から一般的な結論をひきだすことは困難であり，また，試験規模，試験期間などの点で信頼のおける結果を得ることも容易でない。

これらの点を解決する方法の一つとして果樹では栄養診断が重要視され，葉分析によつて施肥の影響を判断しようとの試みが多い。これらの研究は，多数の園から葉を集めて分析する，いわゆる survey の形で行なわれることが多く，特に海外では多数の例[2,3,4,12,15,16,25,29]がある。しかし，一方では各種の条件が重なるため適確な判断が困難であるとする意見[1]もみられている。葉中成分はいずれも明りような季節消長を示すばかりでなく，年による変動も小さくないなど，さまざまな問題を含んでいる。しかし，栄養生理，肥料問題などの研究分野では葉分析の占める役割は大きく，多くの研究がこの方法に基づいて行なわれている。それにもかかわらず，葉分析に関する基礎的な検討は必ずしも充分でなく，特にわが国においては解明されるべき点が非常に多い。

青森県りんご試験場では，1931年からほ場の一部に三要素の肥料試験区を設け，30数年にわたって肥料要素のリンゴに対する影響を調査してきた。試験が長期にわたり，戦争の影響もあってほ場の維持は困難をきわめ，途中，試験の方針にも二，三の小変更がみられたほか，試験規模，試験方法などさまざまな点で，多年性果樹を対象とした研究としては不備な面が多い。しかし，リンゴについてこれほど長期にわたって肥料試験が行なわれた例は，国内ばかりでなく，海外においても例が少ない。

本報告では，この肥料試験各区に栽植された国光成木について，長期にわたるN，P，Kの欠除などが葉および樹体各部の肥料要素含量にどのような影響を与えたかを検討した。すなわち，この三要素試験の全期間にわたる内容を解明することは別の機会にゆずり，リンゴ樹の栄養診断法を検討する立場に重点をおいてとりまとめた。

この調査のうち，葉分析に関する部分は1949年から青森県りんご試験場化学部長，渋川潤一博士の着想によって開始され，1953年以降，著者らが担当した。

この試験の実施にあたり，同氏から常に適切なご助言とご指導をいただき，また原稿のご校閲をいただいた。さらに，この報告は青森県りんご試験場場長，木村甚弥博士のご校閲をいただき，同場栽培部長，福島住雄博士からは統計処理に関しご助言をいただいた。これらの点について以上の諸氏に厚くお礼を申しあげる。

なお，この調査の実施にあたっては，元青森県りんご試験場職員，外川鉄男，佐藤憲秀，太田豊，中村美智江，坪田さく，小田桐惇氏らのご助力をいただき，とりまとめにあたっては，青森県りんご試験場主事，鈴木貞子氏のご援助をいただいた。また，供試樹の収量，せん枝重量および幹周などに関するデータは，青森県りんご試験場栽培科の諸氏によるところが大きい。以上の諸氏に深謝の意を表する。

Ⅱ　実験材料および方法

1. 供試ほ場

青森県りんご試験場ほ場の三要素試験各区に栽植された国光成木につき，1953年から1962年まで調査を行なった。この三要素試験は1931年から1940年までは，三要素，無肥料，無燐酸，無カリ，カリ単用の5区に分け，1941年～1951年までは無肥料区以外の各区に10aあたり堆肥1125kgを施用した。1952年から再び堆肥を加えない三要素試験にもどし，1953年からカリ単用区に燐酸肥料を与え無窒素区に変更し現在に到っている。各区の化学肥料の施肥量は試験開始当時から現在まで変っておらず，その概要は第1表のとおりである。土壌管理は1931年以来清耕法により行なわれ，1年間に数回耕うんと除草を行なった。

2. 供試土壌

供試ほ場の土壌は，青森県りんご園土壌調査による土壌分類で花巻統[23]に属し，表層約30cmは岩木山系黒色火山灰土，下層は砂礫層が厚く堆積している。このためほ場の排水は著しく良好で，根の分布も表層に多い。各区土壌の化学的性質は第2表のとおりである。これによると，各区の土壌は無肥料区を除き，いずれもpHが低く，置換性石灰，苦土，全塩基含量もともに小さい。この傾向は三要素および無燐酸区において特にはなはだしい。また，第1図に示したように，三要素区に比べ無窒素区の土壌のNO_3—Nは著しく低い。この点は無肥料区も同様であって，この両区と三要素区の間には年間をとおして1％レベルで有意差があった。

3. 供試樹

供試樹は，1953年当時48年生の国光（ミツバカイドウ台）で，1954年までは6.3×6.3m正方形植えで栽培し，1955年に半数を間伐して6.3×12.6mの栽植距離とした。この試験区のうち無肥料区を除く各区には，1957年ころからMg欠乏の発生がみられ，特に三要素区と無燐酸区に発生が著しい。また，ほ場は一般にモンパ病の発生が多いが，三要素区は特にこれにより枯死する樹が多く，無燐酸区もこれに次いで発生が多い。

Table 1. Fertilizer treatments of the experimental plot*

Plot code	Fertilizer** applied g/tree N	P_2O_5	K_2O	Area of experimental plot
NPK	750	750	750	8 a
O	0	0	0	6
PK	0	750	750	8
NK	750	0	750	7
NP	750	750	0	9

* Started in 1931 as long-term N P K fertilizer trial
** Applied in spring as ammonium sulfate, superphosphate, potassium sulfate

Table 2. Soil* characters of experimental plot in 1958

Plot	Texture	Total carbon	pH H_2O	pH KCl	Exchangeable base** K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Total	CEC**	P_2O_5 Adsorption Coeff.	Available K***
		%			me					me		
NPK	SCL	5.16	4.2	4.0	0.53	1.76	0.84	0.23	3.36	21.4	1,400	49.4
O	SCL	5.12	5.8	4.9	0.33	2.16	5.85	1.22	9.56	21.5	1,500	38.1
PK	SCL	6.62	5.3	4.5	0.69	1.67	2.60	0.35	5.31	22.6	1.370	70.1
NK	S C	6.45	4.0	4.0	0.44	1.34	0.53	0.23	2.54	21.5	1,450	40.9
NP	S C	5.93	4.2	4.1	0.36	1.81	0.64	0.25	3.06	24.5	1,480	23.4

* Volcanic ash soil, about 30cm in depth, which was under clean cultivation throughout the season
** Neutral N-NH_4OAc extraction, me/100g soil
*** 1％ Na-citrate extraction, mg/100g soil

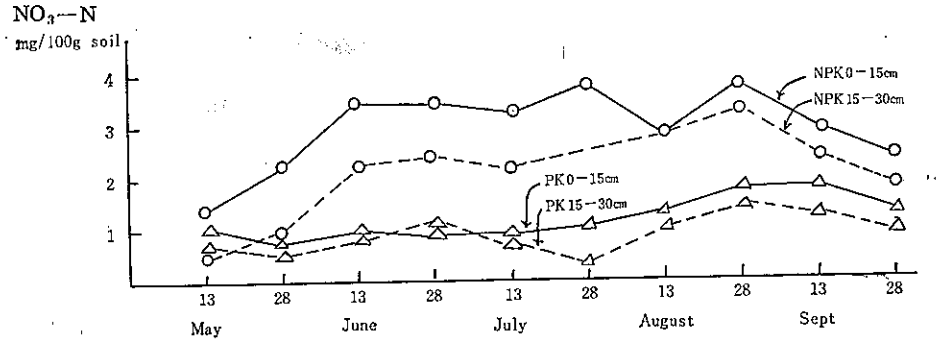

Fig. 1. NO_3-N content in soil of NPK and PK treatments at different times, mean of the year 1956-1958

4. 調査方法

(1) 果実収量調査など

各区の収量，せん枝重量および幹周などのデータは青森県りんご試験場で行なっている定期調査の結果を利用した。

(2) 葉分析およびその他の調査

各区から5樹を選び，1953年から1961年まで，5月中旬から10日おきに採葉した。このうち，1958年から1961年までは11月上旬または下旬まで採葉を行ない，その他の年は10月上旬まで採葉を継続した。また，1962年は6月から9月まで月に1回採葉した。採葉は外観の健全な新しょう中央葉 50～100枚を1区から集め，2％酢酸と水で洗浄し，中肋と葉柄を除き葉身部を通風乾燥後粉砕し，1mmのふるいを通して試料とした。なお，1959年は葉身と葉柄についてその生体重，乾物重を調査し，葉身は葉30枚分を青写真用感光紙にガラス板で圧着後露光し，プラニメーターで葉面積を調査した。

(3) 枝幹部および根の分析および調査

無肥料区を除く各区から1樹を選び，1958年5月上旬から1959年11月下旬まで17回にわたり枝幹部から試料をとり分析に供した。水平またはやや下向きに発生した4年め（1959年は5年めまで）の結実母枝2本を切り取り，枝齢ごとに区分して洗浄後細かく切つて縮分し，通風乾燥後そのまま大型ウイリー粉砕器で粗砕し，ボールミルで粉砕して試料とした。別に主幹部の地上から30～50cmの部分をまわしきりで直径約3cmの大きさに4か所穴をあけ，木部と皮部の試料を採取した。根は，この樹の幹から約2m離れた周囲4か所を深さ30cmまで掘って集め，洗浄後直径約2mm以下，2～5mmまで，5mm以上の3種に分け試料とした。また，1958年から1960年まで，各区3樹の供試樹を選び，1樹について新しょう20～30本の長さを測定した。調査は7月下旬または8月上旬に行なった。

(4) 果実の分析調査

以上述べた枝幹部の分析のために切り取った結実母枝に付いている果実を集め，洗浄後薄く切り，種子と果梗を除いた残りを通風乾燥後粉砕し，果実中の諸成分の季節的消長を調査した。また，1957年から1959年まで，各区3～6樹について各樹の1果平均重量に近い果実30個を集め，前述のように処理し収穫果の分析を行なった。1959年はこの収穫果の種子を集め分析に供した。さらに，1961年には各区2樹の収穫果から重量ごとに20果を集め，果肉部から家庭用のジューサーで果汁をとり，希釈後 flame photometer によってK濃度を測定した。

5. 分析方法

Nはセミミクロ・キエルダール法によって定量した。その他の成分は，電気炉を用い 550℃で灰化後，希硝酸で処理し定容とした溶液について，Kは flame photometer により，Pはバナドモリブデン酸比色法，Ca と Mg はキレート滴定によって定量した。ただし，果実および種子は ternary acid により湿式分解した。

Ⅲ 実験結果および考察

1. 各区の収量

葉分析などの調査を行なった10年間（1953～1962年）の各区の収量，収穫果数，1果平均重量を，1区5樹の供試樹につきとりまとめ，1樹あたりの平均値で示すと第3表のとおりである。また，この期間の収量の動きを比べるため3年間の移動平均をとると第2図のとおりである。

この10年間に収量および収穫果数はほぼ2倍に増加した。1956～1958年にかけて特に増加が顕著であり，1955年に行なった間伐が収量増加の主原因であると思われた。10年間の平均値で各区を比較すると，収量，果数，1果重量とも三要素区が最も大きく，無カリ区がこれに次ぎ，無肥料区は最も小さかった。また，K欠除の影響によるかどうか確かでない点もあるが，無カリ区の収量と果数の変動は他の4区に比べかなり大きかった（第3表）。

収量の変動にはさまざまな要因が関係するが，原因の明らかでない変動要因を除くため，この調査期間の前後1年ずつの調査値を補足し，12年間の調査値について3年間の移動平均をとり，分散分析[28]によって処理間の有意差を検定した（第4表）。これによると，収量では無肥料区が三要素，無カリの各区と5％レベルで有意差があり，1果重量では無肥料区が他のいずれの区とも有意差があった。しかし，果数については処理による有意差が認められなかった。

Table 3. Variation in fruit yield* of experimental plots during the 10 years period, 1953—1962

	Fruit yield kg/tree					Fruit number					Mean fruit weight g				
	NPK	O	PK	NK	NP	NPK	O	PK	NK	NP	NPK	O	PK	NK	NP
Year															
1953	99.3	106.6	79.0	84 5	148.4	627	755	498	572	901	158	141	159	148	165
1954	87.3	58.7	60.0	83.0	67.9	529	428	411	578	401	165	137	146	143	169
1955	110.5	48.5	64.2	58.0	36.5	715	346	448	394	239	155	140	143	147	152
1956	138.1	115.6	174.8	180.2	133.2	664	682	951	916	802	208	170	184	197	166
1957	243.0	114.3	182.6	160.5	272.1	1324	831	1201	928	1680	183	136	152	173	162
1958	170.7	111.6	124.3	153.8	104.4	1004	760	796	933	631	170	147	156	165	166
1959	160.3	80.0	147.2	124.1	104.4	1015	526	873	748	590	158	152	169	166	177
1960	178.2	125.7	131.8	158.3	163.8	1146	1007	898	1094	1112	156	124	147	144	148
1961	211.8	144.1	182.1	216.0	204.9	1250	851	1003	1097	1087	169	170	182	196	188
1962	147.3	139.5	167.1	137.5	245.5	896	1032	1070	868	1528	164	135	156	159	160
Mean	154.7	104.5	131.3	135.6	148.1	917	722	815	813	897	169	145	159	164	165
SD	49.2	32.2	48.3	48.8	75.5	276.1	230.0	274.2	234.3	465.1	16.21	15.02	14.49	20.0	11.5
CV	% 31.8	31.0	36.8	36.0	51.0	30.1	31.9	33.7	28.8	51.8	9.6	10.3	9.1	12.2	6.9

*Ralls variety, 48-year-old in 1953

SD : Standard deviation, CV : Coefficient of variation, Mean of 5 trees per plot

Tree spacing for experimental plot was 6.3×6.3m since 1931,

in 1955 half of the trees in each plot were removed, leaving

12 trees per 10 a

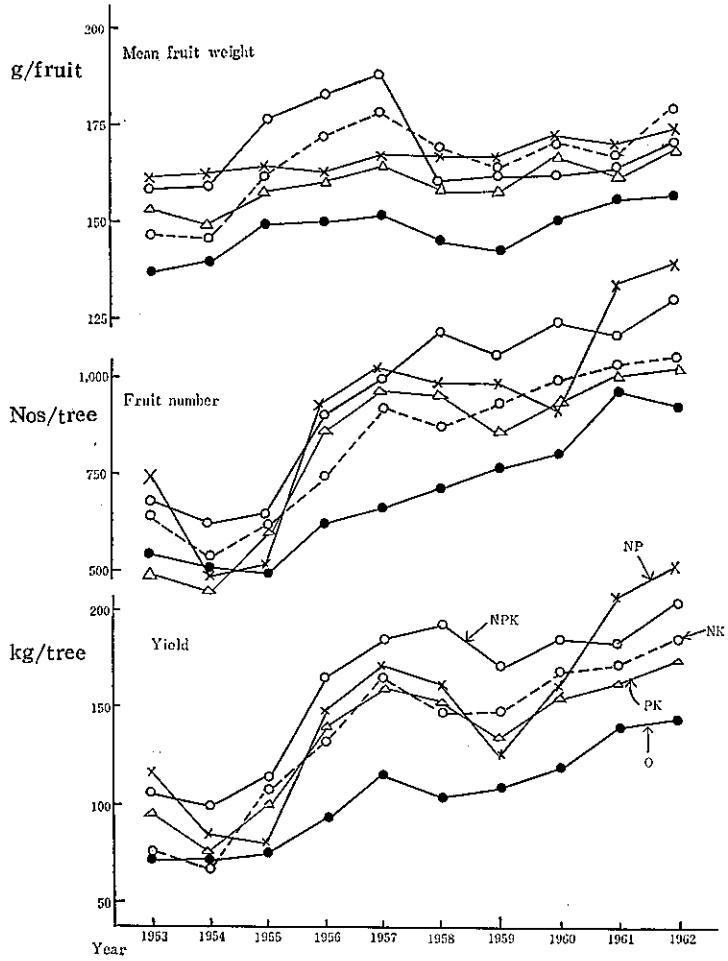

Fig. 2. 3-year moving average of yield, fruit number and mean fruit weight during the period of 1953—1962

この試験は1931年から継続しており，施肥処理が収量に及ぼした影響については全期間にわたって検討する必要がある。この点を検討することは本報告の目的ではないので他の機会にゆずるが，この10年間の各区の収量の比較はその平均値によることにした。すなわち，三要素と無カリ区の収量が最も大きく，無窒素と無燐酸区がこれに次ぎ，無肥料区は最も小さいと考えるのが妥当であろう。

Table 4. 3-year moving average of yield, fruit number and mean fruit weight, mean of the year 1953—1962

Treatment	NPK	O	PK	NK	NP	Sig. diff. for treatment mean*
	kg/tree					
Yield	158.82	102.68	131.42	138.73	146.52	40.22
Fruit number	942	694	813	838	888	NS
	g/fruit					
Mean fruit weight	167.6	146.9	159.9	164.9	165.1	9.66

* P=0.05

2. 葉分析調査

(1) 葉中成分の季節的消長

1953年から1961年まで10日おきに葉中N，P，K含量を調査し，満開後の日数に応じて9年間の平均をとった。この一部を第3図に示した。また，葉中Ca，Mg含量は1958年から1961年までの調査結果を同様にとりまとめ第4図に示した。

これによると，葉中Nの季節的消長は，満開60日後ころ（7月中旬）までやや増加し，それ以後満開140日後ころ（10月上旬）まで，わずかに低下は認められるがほぼ同じレベルを保ち，その後はやや低下が激しくなった。また，三要素区に比べ無肥料，無窒素区のNレベルには明らかな違いがあるが，季節的消長の形にはほとんど差は認められなかった。

葉中PおよびKの季節的消長は，いずれも生育初期のレベルが高く季節の経過とともにほぼ直線的に低下する傾向があった。また，葉中Pレベルは P欠除の2区とも三要素区と全く同じレベルにあり，季節消長の形も同じであった。葉中KはK欠除の2区のレベルが著しく低いが，消長の形は他の区とほぼ同じであった。

葉中CaおよびMgの季節的消長は，すでに報告[22]したところと同じ傾向があり，本報では検討を省略する。

葉中諸成分が生育期間内に示す変化の大きさを知るため，満開後20日から190日までの変動係数で示すと第5表のとおりである。

葉中Nの季節的変化はN，P，Kのうちで最も小さく4区こみの平均で約13%であり，葉中PおよびKはともに25%を越え生育期間内の変化はかなり大きかった。

葉中成分の季節的消長について，わが国では森ら[20]が概略を述べ，また，望月ら[18,19]の報告がある。海外にも多くの研究があるが，ROGERSら[24]が最も詳細に報告している。本報告に示した葉中Nの消長は，生育後期の低下の程度に違いがあるが，一般的な傾向はROGERSらの報告とよく一致した。

葉中Pについても同様な傾向がみられ，年により多少の違いはあるが，本調査では生育初期から後期にかけてほぼ直線的に徐々に低下がみられている。これに対し，ROGERSらによると，N，Pいずれも満開160日～170日後からかなり急激な低下がおきるとされている。また，森らは葉中NはKよりも時期の経過とともに減少する傾向が強いとしている。しかし，この調査では三要素のうちでNの変動係数が最も小さく，季節的な変化はむしろ最も小さいものと思われた。

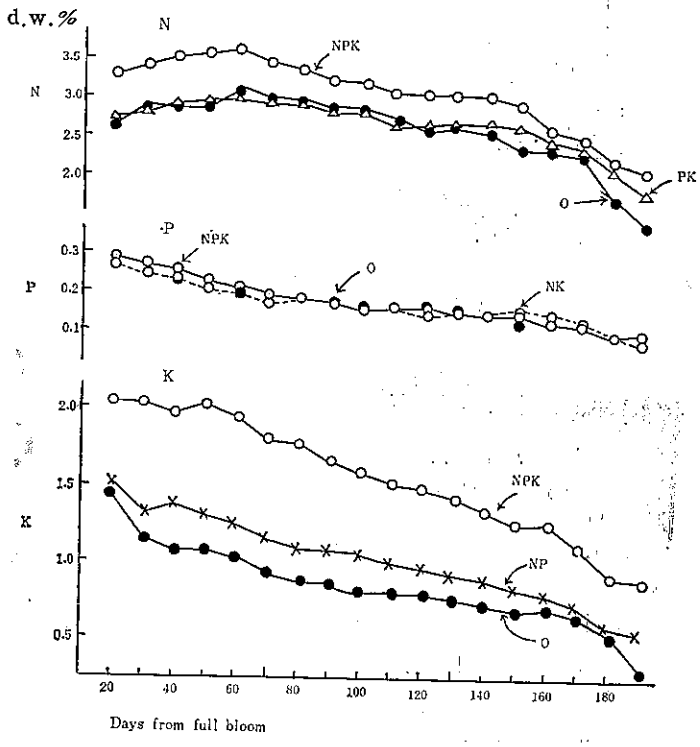

Fig. 3. Seasonal change of N P K content of Ralls leaves, mean of the year 1953—1962

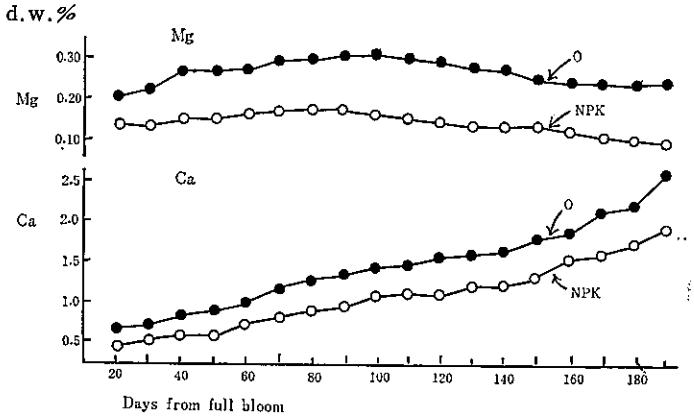

Fig. 4. Seasonal change of Ca and Mg content of Ralls leaves, mean of the year 1958—1961

季節的消長の形は，かなりの年数について平均をとると第3～4図のように比較的簡単な傾向を示すが，それぞれの年についてみるとその形は必ずしも一定でない。この形を葉中Nについて模式的に示すと，第5図のようにNの低下の始まる時期に相違が認められる。1955年と1959年はかなり早くNの低下が始まるが，1953，1958，1960および1961年は初期にやや増加がみられ以後次第に減少し，最も普通の消長を示した。かなり後までN含量の増加がみられたのは1954年と1956年であつた。

Table 5. Within-season variation* in leaf nutrient composition of Ralls trees

Treatment	N P K					O					PK		NK	NP	
Leaf nutrient	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	K	P	N	K
	d.w.%														
Mean	3.07	0.17	1.54	1.07	0.14	2.58	0.17	0.85	14.4	0.27	2.67	1.66	0.17	3.06	1.02
SD	0.448	0.056	0.380	0.421	0.024	0.427	0.047	0.246	0.535	0.023	0.303	0.400	0.048	0.398	0.270
	%														
CV	14.6	32.1	24.7	39.4	17.2	16.5	27.5	29.0	37.2	12.8	11.3	24.1	28.2	13.0	26.5

*18 analysis from mid-June to late Nov. with 10 day intervals
Leaf blade smples were analysed throughout the experiment

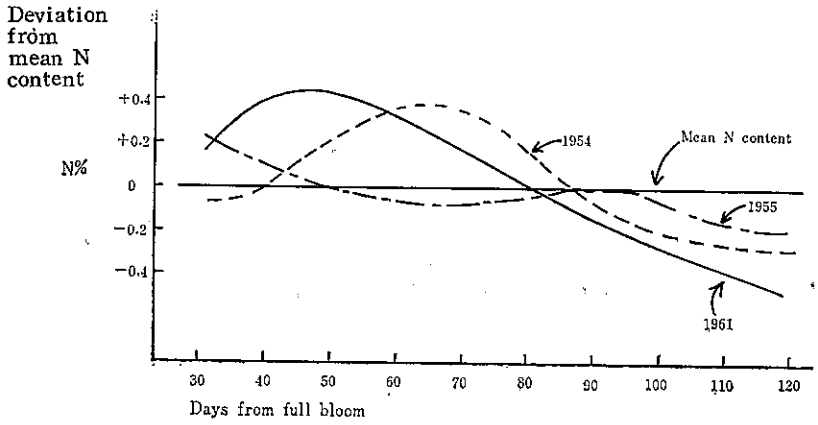

Fig. 5. Shematic patterns of seasonal change in N content of Ralls leaves.

Table 6. Effect of fertilizer treatments on leaf nutrient content

Sampling time	Leaf nutrient Treatment	N NPK	N O	N PK	N NK	N NP	P NPK	P O	P PK	P NK	P NP
Days from full bloom		d.w.%									
	Mean	3.51	2.95	2.91	3.41	3.42	0.20	0.20	0.21	0.20	0.21
	SD	0.105	0.179	0.064	0.094	0.173	0.023	0.019	0.017	0.018	0.028
50 — 70	CV	% 2.9	6.1	2.2	2.8	5.1	11.1	9.5	5.0	9.2	13.3
	Sig. diff. for treatment mean *			0.133					NS		
	Mean	3.28	2.84	2.83	3.23	3.32	0.17	0.17	0.20	0.17	0.18
80 —100	SD	0.124	0.108	0.146	0.157	0.150	0.012	0.014	0.015	0.017	0.013
	CV	3.8	3.8	5.2	4.9	4.5	6.8	7.8	7.6	10.0	7.2
	Sig. diff. for treatment mean *			0.176					0.018		
	Mean	3.16	2.63	2.66	3.04	3.06	0.15	0.16	0.17	0.15	0.16
110—130	SD	0.283	0.101	0.145	0.155	0.241	0.005	0.016	0.141	0.011	0.046
	CV	9.0	3.9	5.5	5.1	7.9	3.4	9.9	8.2	7.0	2.9
	Sig. diff. for treatment mean *			0.214					0.012		

* P=0.05　　N, P, K : mean of the year 1953—1962, Ca, Mg : mean of the year 1958—1961

葉中Nの消長の形が年によつて多少異なることは，BOLLARDら[5]の報告にもみられ，また，他の要素についても同様な相違が認められる。しかし，この10年間についてみると，葉中P，Kの消長の形はほとんど第3図に示したものと大差がなく，Nほどの変化は認められなかった。このような消長の形の相違は，気象，栽培などの諸条件と樹の栄養状態などが関連するものと思われるが，その詳細は明らかでない。

(2) 葉中成分の年による変動

満開後50～70日，80～100日および110～130日の3期について葉中成分の平均を求め，N, P, Kについては1953年から1962年までの10年間，Ca, Mgについては1958年から1961年までの4年間について，その平均値および変動係数などを第6表に示した。このうち，80～100日（8月に相当する）についてはその傾向を第6図に示した。なお，1962年は各月1回だけ調査を行なったので，この分析値を用い計算した。

前述のように各要素はかなりの季節的変化を示し，最も変化の少ない葉中Nで11～16%，Kでは24～29%に達する（第5表）。したがって，数年にわたって葉中成分の比較を行なう場合は採葉期を一定にする必要がある。この場合の変動は第5表のように，Nでは3～4%，Kでも8～12%におさえることがきる。また，採葉期と変動の大きさについては，7月から9月までのどの時期に採葉しても，時期が一定であれば大差がみられなかった。

各要素の年次変動の大きさをみると，葉中Nが最も小さく（各時期，各区こみで約5%）しかも7月（満開50～70日後）に採葉したものの変動がやや小さい傾向がある。葉中PはNに次いで小さく（約8%），9月採葉が7月よりやや小さい傾向ががある。葉中Kは三要素中で最も大きな変動を示した（約11%）。また，葉中CaはN, P, Kよりも一般に変動が大きい傾向が認められた。

葉中成分の年次変動がかなり大きいことについては多くの報告があるが，BOLLARDら[5]は長期にわたる肥料試験の葉分析値について，葉中N, KおよびMg（Caは分析していない）の年次変動は，各処理間の差を上まわるほどであることを報告している。また，HEENEYら[14]は，葉中Nの年次変動は一般にあまり大きくなく，Kがかなり大きいと述べている。

葉分析値の年次変動はさまざまな条件によって左右されるが，特に結実量の多少がかなり強い影響をもつことが広く認められている。この調査では間伐後，1956～1957年にかけてかなり収量の増加が認められたが，この影響はどの葉中成分についても明らかでなかつた。着果量が葉中成分に影響を与える理由は，過着果または強い摘果など樹の負担力と着果量のつり合いが乱れるためと考えられるので，本試験の例では，間伐による樹冠の拡大に応じ，ほぼ適当な着果量が保たれたと思われる。

of Ralls trees at different sampling times

K					Ca					Mg				
NPK	O	PK	NK	NP	NPK	O	PK	NK	NP	NPK	O	PK	NK	NP
1.93	1.02	2.00	1.90	1.20	0.76	0.99	0.92	0.70	1.00	0.16	0.28	0.21	0.16	0.20
0.164	0.134	0.216	0.190	0.157	0.139	0.211	0.126	0.116	0.191	0.030	0.009	0.024	0.021	0.025
8.5	13.1	10.8	10.0	13.1	18.3	21.3	13.7	16.6	19.1	19.5	3.2	11.7	13.3	12.4
		0.158					0.158					NS		
1.66	0.86	1.75	1.69	1.06	0.99	1.39	1.17	0.87	1.28	0.16	0.30	0.19	0.16	0.21
0.135	0.104	0.210	0.206	0.127	0.080	0.164	0.105	0.132	0.168	0.023	0.044	0.016	0.022	0.015
8.1	12.2	12.0	12.2	12.0	8.1	11.8	8.9	15.2	13.1	14.7	14.6	8.4	13.5	7.5
		0.147					0.125					0.079		
1.48	0.79	1.60	1.54	0.96	1.15	1.51	1.30	1.06	1.58	0.13	0.29	0.16	0.14	0.19
0.120	0.096	0.200	0.133	0.090	0.085	0.104	0.123	0.130	0.174	0.053	0.038	0.013	0.010	0.017
8.1	12.2	12.5	8.6	9.4	7.4	6.9	9.5	12.2	11.0	39.3	13.2	8.4	7.1	8.6
		0.125					0.162					0.096		

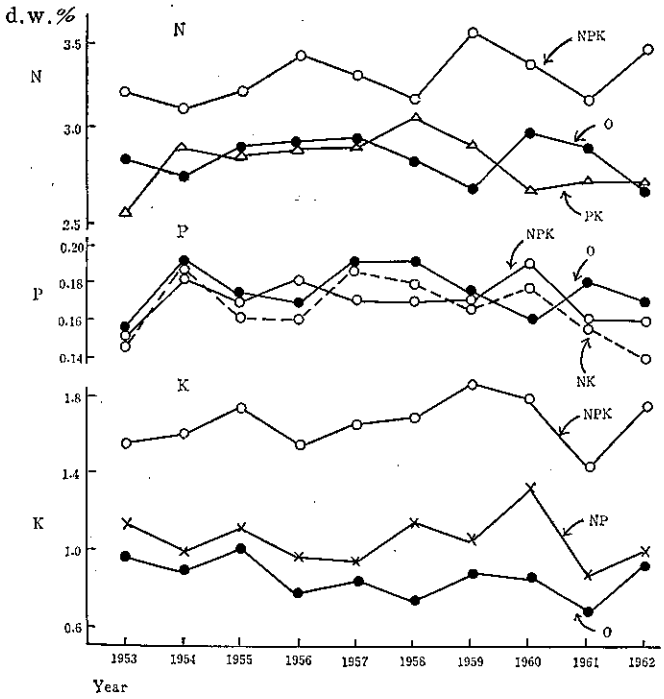

Fig. 6. Year-to-year trend of leaf nutrient elments during the period of 1953—1962, at the sampling time of 80—100 days from full bloom

(3) 各区の葉中成分の比較

肥料処理が葉中成分に与えた影響を知るため，満開後三つの時期に採葉した試料の10年間の分析値（第6表）について処理間の有意差を検定し，5％レベルで有意差のある処理間の平均値の差を第5表に付記した。

葉中NおよびKは，それぞれの肥料欠除の影響をよく示し，無肥料，無窒素区の葉中Nは他の3区より低く，また，無肥料，無カリ区の葉中Kも他の3区より低く，いずれも有意差があつた。これに対し葉中Pは，長期にわたる欠除処理にもかかわらず無肥料，無燐酸区とも三要素区とほとんど同一レベルにあり，第2図のように，その季節消長にも異なる点がみられなかった。また，1952年までP欠除処理を受けていたにもかかわらず，無窒素区のPレベルは最も高く他の4区と有意差がみられた。

無窒素および無燐酸区には1951年まで約11年間，10aあたり1125kgの割合で堆肥が施用された。堆肥中の燐酸含量を0.25％[17]とすると，11年間で10aあたり約30kgが施肥されたことになり，この影響も無視できない。しかし，無肥料区には1931年から全く肥料が入っておらず，このため，葉中NとKは著しく低いがPだけは三要素区と全く同じレベルにある。一般に，Nレベルの低い樹の葉中Pは高く，Nレベルの増加によつて葉中Pの低下がおきることは，かなり確かであると考えられている[6,7,8,11]。以上述べた無窒素および無肥料区のPレベルも一部はこの影響によると思われる。

次に，各区の新しよう中央葉の乾物重および葉面積などを調査し，また，単位葉面積あたりの葉中成分を比較した結果を第7表に示した。乾物重は1959年7月中旬から10月上旬まで10日おきに9回，葉面積および単位面積あたりで示したその他の測定値は8月上旬から10月上旬まで1月おきに3回の平均値である。これらについて処理間の差の有意性を検討した結果を付記した。

これによると，乾物重，葉面積とも無燐酸区が大きく他の四つの区と有意差があり，三要素区がこれに次ぎ，無肥料区は最も小さかった。また，単位葉面積あたりのPレベルも乾物あたりと同様に各区の間に有意差が認められなかった。したがって，この調査の範囲では無燐酸区の葉が他の各区に劣る点は認められず，また，P含量の表示方法を変えてもPレベルの表示結果に違いはなかった。

しかし，第8表のように，各区の樹体の生長を比べると，無燐酸区は新しょうの長さ，せん枝重量，幹周などの点でわずかながら三要素区より劣り，また，後で述べるように枝幹部，細根のP含量は三要素区より低く，P欠除の影響が現われていると思われる。したがって，葉中Pに差のみられない理由は，葉がPレベルの変化に反応が鈍く，かなり明りように不足しないと葉中Pの低下がおきないためと考えられる。

葉中Caは，三要素，無燐酸区がともに低く，他の3区と有意差が認められた。葉中Caの高い順序に各区を並べると，7月（満開50～70日後）および9月採葉の場合は，NP＞O＞PK＞NPK＞NKとなり，8月採葉では，O＞NP＞PK＞NPK＞NKとなる。無燐酸区が最も低い理由の一つとして，過燐酸石灰に含まれる石灰（10aあたりCaOとして1年間に約30kg）の影響も無視できない。また，三要素区の葉中Caが低い理由は，長年にわたり生理的酸性肥料（硫安，硫加）を使用したことが土壌中の塩基の溶脱を促進したためと思われる。無カリ区の葉中Caが無肥料区と同じ程度に高い理由は，葉中Kの低下によってKとCaの拮抗が弱まったためであろう。

葉中Mgは，無肥料区が著しく高く，他の4区と有意差がみられた。この理由は，無施肥のため塩基の溶脱が少なく，土壌中の置換性塩基含量が高く，特に置換性Mgが著しく高いこと（第2表），および葉中Kの低下による拮抗作用の減少などによると思われる。

以上のような葉中Ca，Mg含量の違いは，各区土壌の化学的組成（第2表）とかなりよく一致している。溶脱を受けやすい本土壌の特性から，施肥処理によつて土壌の化学的組成，特に塩基含量に差を生じ，これが葉中成分に大きな影響を与えたと思われる。

窒素肥料の施肥は葉のNレベルを高めるばかりでなく，CaおよびMgレベルを高め[8]，KおよびPレベルを下げる[10]傾向があるとされている。本試験では，CaおよびMgレベルはむしろ窒素の施肥によって低下が促進されたと考えられるが，その主な理由は前述のように，施肥に伴う酸根（硝酸または硫酸）の増加が溶脱を促進し土壌のCa，Mg含量の極端な低下をもたらしたためである。上記の諸報告にみられる樹体内の諸要素の相互作用は，これらの要素が土壌中に充分含まれていて，樹体に供給できる状態にある時にのみ現われるものであろう。

Table 7. Effect of fertilizer treatments on leaf weight, leaf area and leaf N P K content (unit area basis) of Ralls trees

Treatment	NPK	O	PK	NK	NP	Sig. diff. for treatment mean***
Dry wt. of leaf blade* g/100 leaves	29.7	23.2	26.5	32.6	26.9	4.55
Dry wt. of petiole* g/100 leaves	5.4	4.7	5.2	6.1	5.2	0.65
Leaf area** cm^2/100 leaves	3397	2557	3054	3608	3257	494
Dry wt. of leaf blade** mg/100 cm^2	874	895	849	903	831	NS
N content of leaf blade** mg/100 cm^2	30.1	23.4	24.3	29.2	25.7	4.75
P content of leaf blade** mg/100 cm^2	1.37	1.47	1.60	1.47	1.30	NS
K content of leaf blade** mg/100 cm^2	13.8	7.9	13.8	14.4	10.8	5.25

* Mean of 9 samples taken from July to October, 1959

** Mean of 3 samples taken from August to October, 1959

*** P=0.05

Table 8. Effect of fertilizer treatments on growth of Ralls trees

Treatment	Year	NPK	O	PK	NK	NP
		cm/shoot				
Growth of terminal shoot*	1958	20.4	—	15.0	17.4	18.0
	1959	25.0	15.9	24.5	23.5	24.8
	1960	23.0	19.5	27.4	25.8	23.2
	Mean	22.8	17.7	22.3	22.3	22.0
		kg/tree/10 year				
Wt. of pruned off branch**	1953～1962	253.1	115.9	160.7	194.5	274.7
		cm/tree/10 year				
Increment of trunk girth**	1953～1962	16.4	12.9	15.0	15.0	22.2

* Mean length of 60—90 terminal shoots from 3 trees of each plot

** Mean of 5 trees from each plot

3. 枝幹部および根の分析調査

(1) NPK量含の季節的消長

1958年5月から1959年11月まで17回にわたり，無肥料区を除く各区から試料をとり，新しょうから5年枝まで（1958年は4年枝まで），枝齢ごとにN, P, K含量を調査した。このうち三要素区の一部を第7～9図に示した。

なお，主幹部の木部および皮部の消長もこの図に付け加えた。また，1958年5月から1959年4月まで，根のN, P, K含量の消長を調査した結果は第10図のとおりである。

枝幹部の季節的消長をみると，N, P, Kとも枝齢の古い部分に比べて若い部分の含量が常に高く，新しょうの生長初期の含量が特に著しく高かった。2年間をとおしてみると，各成分の消長は必ずしも同じでないが，枝齢の古い部分のN，K含量は春から夏にかけて低下して一つの谷を作り，夏にやや高く，晩秋に再び低下し，休眠中には再び高くなつて山を作る傾向がみられた。Pの消

長はNまたはKほどの変化を示さず，ほぼ一定のレベルで推移するが，新しようのPレベルは始め高く，生育の進むにつれ急激に低下した。

根のN，P，K含量の消長をみると，いずれの要素も太根より細根の含量が高く，また，太根より細根の含量変化が激しかつた。それぞれの要素相互の消長には一定の傾向がみられないが，NはP，Kに比べ含量変化は小さい傾向がみられ，特に太根では大きな変化がみられなかつた。根のPは春と晩秋に低下する傾向があり，Kは春から夏にかけて低下する傾向がみられた。

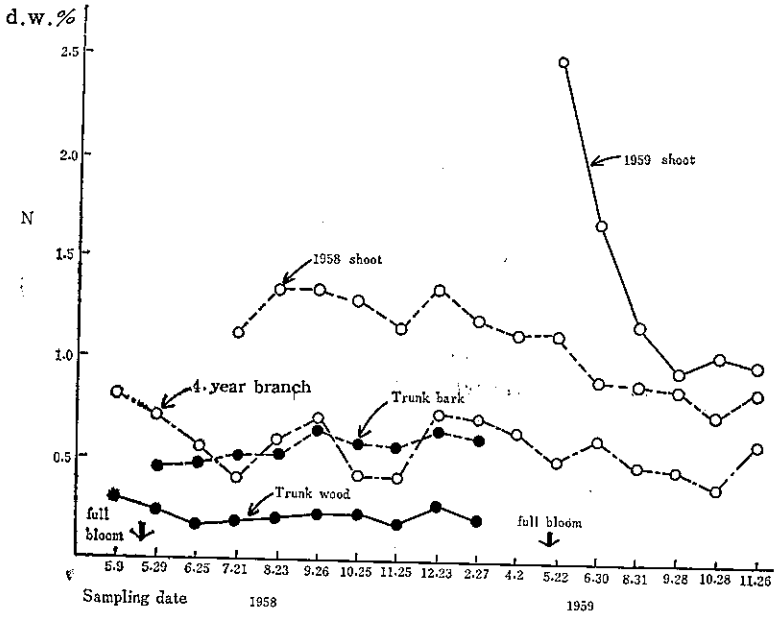

Fig. 7. N content in shoot and branch of Ralls trees from NPK plot at different times, bark and wood inclusive

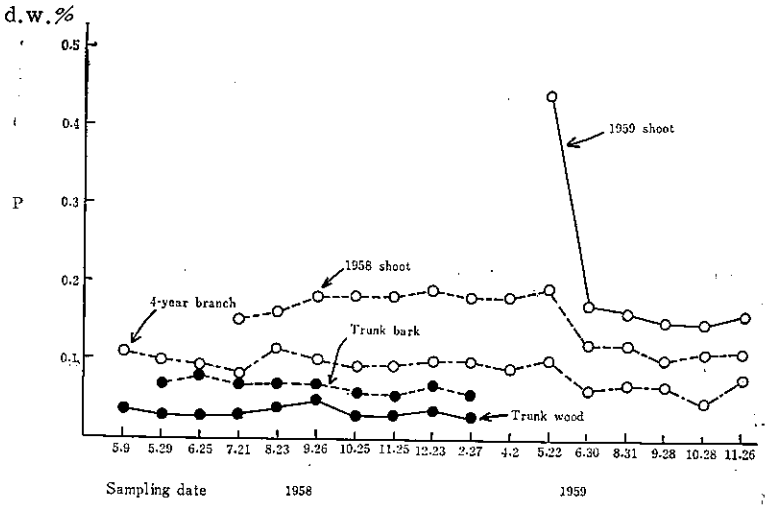

Fig. 8. P content in shoot and branch of Ralls trees from NPK plot at different times, bark and wood inclusive

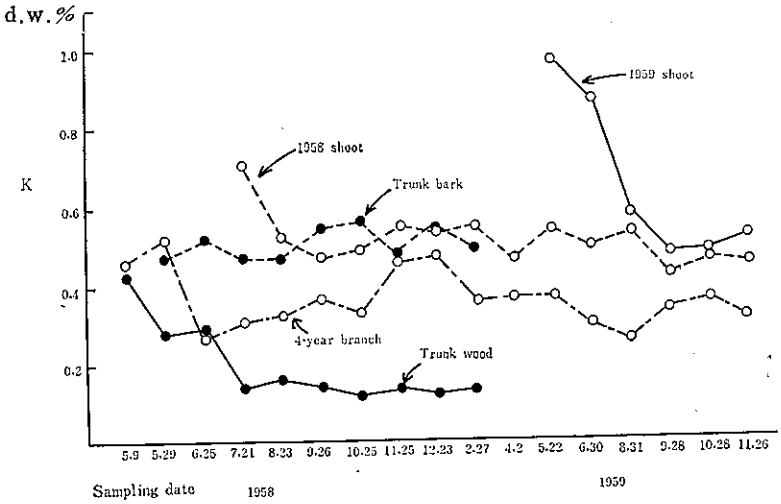

Fig. 9. K content in shoot and branch of Ralls trees from NPK plot at different times, bark and wood inclusive

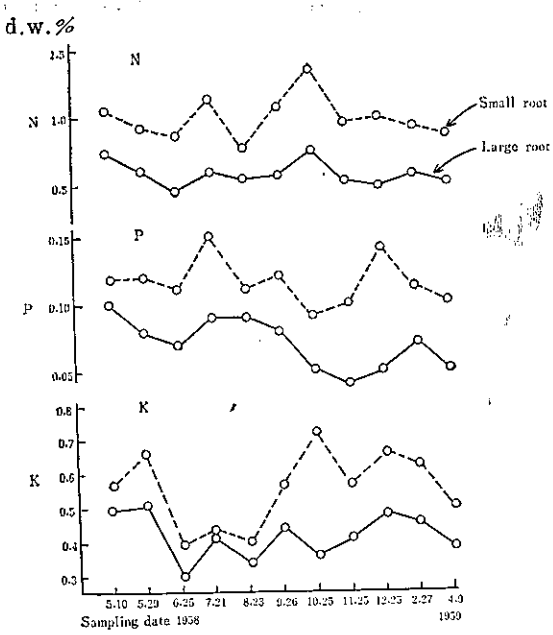

Fig. 10. N P K content in root of Ralls trees from NPK plot at different times

Table 11. Effect of fertilizer treatments on K concentration* of fruit juice for various fruit size

Treatment	NPK	O	PK	NK	NP
Fruit wt. 50 g	—	—	—	—	530
100	1250	890	1500	—	560
150	1370	920	1430	1210	820
200	1150	920	1310	1110	980
250	1150	1060	1390	1090	—
300	—	1170	—	1130	—
Mean	1230	992	1408	1135	723

* ppm

Ⅳ 総　合　考　察

本報告では，1931年から継続してきた三要素試験について，1953年から1962年までの10年間，各区の樹体内の無機成分が施肥処理によってどのような影響を受けたかを検討した。試験結果を総合し，二，三の点につき考察を加えると次のとおりである。

1. 肥料処理の直接的影響

供試樹の樹体各部の分析値から判断すると，樹体のどの部分についても，NおよびKの欠除処理の影響はかなり明りょうであった。なかでも，K欠除の影響は葉，枝幹部および根など，樹体の主な部分には明らかに認められ，無肥料，無カリ両区のKレベルは著しく低かった。また，N欠除の影響は葉中Nレベルに最もよく現われ，枝幹および根部などに対する影響はやや明りょうでなかった。P欠除の影響は最も不明りょうであり，枝幹部および細根のPレベルは明らかに低下が認められたが，葉中Pは無燐酸，無肥料区とも他の各区と同一レベルを示した。また，1952年まで約20年間にわたり燐酸の施肥を行なわなかった無窒素区（当時はカリ単用区）のPレベルは，樹体のどの部分についても，P施用区と差が認められなかった。

樹体各部の分析値によると，この試験ではN欠除よりもK欠除による各部の含量低下が明りょうであった。しかし，第3表に示したように，収量の低下はむしろ無窒素区が顕著であり，無カリ区は三要素区に比べほとんど収量の低下が認められなかった。また，樹体の生育も，新しょうの長さでは差がないが，幹周の増加量およびせん枝重量は無カリ区が無窒素区よりも非常に大きい（第8表）。無カリ区のNレベルはかなり高く，特に枝幹部ではかなり著しい（第9表）。樹体のNレベルの低下が収量に対し強い制限因子として働らくこと，また，逆にNレベルの上昇が収量の増加とつながることは広く認められている。したがって無カリ区ではKレベルの低下に伴うNレベルの増加が著しく，これによって樹体の生長が維持され，すでに指摘したように収量の変動は大きいが（第3表），平均してかなり高い収量を保つことができたと考えられる。

無肥料区はNおよびKレベルとも著しく低いが，葉中Nレベルは無窒素区とほぼ同じで生育後期の低下がやや強い傾向がみられるにすぎない。これに反し，葉中Kは無カリ区よりもかなり低い傾向があり（第3図，第5～6表），また，果汁中のK濃度からうかがわれるように（第11表）Kの低いレベルが果実肥大の制限因子となっている可能性はある。しかし，葉色，果実の着色，収量および生長量の低下などの点では無カリ区よりもはるかに無窒素区に類似した状態を示している。以上のことから，この区にはどちらかと言えばN欠除の影響が強く現われたと思われる。

森ら[20]は果実の着色と葉中成分のN/K比について検討を加え，これが着色の良否を判断する指標になる可能性を指摘している。満開後80～100日（ほぼ8月に相当する）の葉成分について各年ごとにN/K比を求め，10年間の平均と範囲を第12表に示した。また，各区間の

N/K比の有意性を，範囲による簡便法[28]で検定した結果を付記した。

これによると，無肥料区を除く他の4区についてはN/K比の高いほど着色が悪く，また，収量および樹体の生長量は大きい傾向があるように思われる。しかし，無肥料区のN/K比は5区中で最も高く無カリ区以外の各区と有意差があり，果実の収量，着色および樹体の生長量などの点については他の4区と反対の傾向がある。果実の品質とN/K比についてはHEENEYら[14]も検討を加え，N/K比が1.25以下でないと品質のよい果実の多収は望めないとしている。この値は葉身と全葉の分析値の相違を考慮しても非常に小さく，本試験の結果とはかなりの差がある。この理由としては品種の違いなどがあげられるが，このほか，後に述べるように青森県の葉中Nが一般に高い傾向があることとも関係があると思われる。以上のことから，この問題は単にN/K比ばかりでなく，森らも推察しているように，Nレベルの高低がかなり大きな影響を与えると思われる。

Table 12. Effect of fertilizer treatments on N/K ratio of Ralls leaves*

Treatment	NPK	O	PK	NK	NP	Sig. diff. for*** treatment mean
Mean**	1.98	3.36	1.64	1.94	3.17	0.38
Range	1.82—2.23	2.83—4.33	1.33—2.02	1.38—2.28	2.67—3.70	

* Leaf blade samples
** Mean of the year 1953—1962
*** P = 0.05

2. 肥料処理の間接的影響

肥料要素の相互作用については多くの研究があり，リンゴでは，Nレベルの増加に伴いCa，Mgレベルの増加とK，Pレベルの低下が生じ，また，Kレベルの低下によってN，CaおよびMgレベルの増加がおきるなどのことが一般に認められている。これらの変化は，肥料要素がいずれも吸収されやすい形で存在する場合にのみ，明りように認められると思われる。以上の一般的な相互作用に対し否定的な報告がみられる例もあり，これは土壌の諸要素供給力に差があったためと解釈できる。この試験結果でも，以上のような一般的傾向が認められる部分と，むしろ逆の結果が得られる場合があった。逆の結果が得られた原因は土壌の化学的組成の変化によるところが大きいと思われる。例えば，無肥料区は無カリ区よりも著しくNレベルが低い。したがって，Nレベルの高い無カリ区よりも，無肥料区のKレベルが高くなると予想されるが，実際にはかなり低くなっている。これは，両区の土壌中のCa，Mgレベルに大差があるため，葉中Ca，Mgレベルにも大きな違いを生じ，これが葉中Kに対し拮抗的に働らいたためと解釈できる。

この試験では肥料処理が土壌の化学的組成に大きな違いを生じ，これが葉中成分の相互作用に影響を与え，また，無肥料を除く各区にMg欠乏の発生を招いた。したがつて，三要素試験としては，Ca，Mgレベルが低い特殊な条件下で行なわれたと言えよう。しかし，岩木山系の火山灰土壌に生育するリンゴは，この試験条件とほぼ似た条件下にあったと考えられる。

3. 葉分析との関連

葉分析調査の示す可能性と限界については，わが国でも[1,20,27]また海外でも[4,7,12,13,25]多くの論議があり，いわゆるSurvey形式による栄養診断の立場ではなお解決を要する問題が残っている。しかし，試験研究面で果している葉分析の有用性は否定できない。

本試験ではN，P，Kの施肥処理が異なる供試樹について葉中成分の季節的または年ごとの消長，変動および処理間の差などの点を検討した。変動の大きさはサンプリングおよび分析に由来する誤差を含むが，季節内の葉中成分の変動はかなり大きく，しかも，どの時期についても常に変化が続いており，ある時期に葉中成分がほぼ一定レベルを保つことは期待できないようであった。したがって，数年にわたるデータを比べる場合には，かなり厳密に一定の採葉時期を守ることが必要である。また，葉中成分の年次変化はNよりもKがかなり大きく，これは葉中Kが気象条件，結実量などの要因の影響を受けやすいためと考えられ，葉中Nは外部条件の変動に敏感でないと思われた。

本試験では途中間伐を行なったため，1樹あたりの収量は非常に大きな変化を示したが，葉中成分にはこの影響はほとんど現われなかった。この理由は前にも述べたが，かなり集約的なせん定，摘果などの管理を受けている状態では，これらの諸作業が樹の負担を調節する働らきをするため，樹体の養分レベルに変化が現われにくいと思われる。

引 用 文 献

1. 阿部 勇, 森 英男, 1958. りんごの葉分析に関する研究（第2報）窒素栄養が葉成分, 生育, 収量及び品質に及ぼす影響. 園学雑. 27：89—93.
2. BATJER, L.P. and J.R. MAGNESS. 1938. Potassium content of leaves from commercial apple orchards. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 36：197—201.
3. BEATTIE, J.M. and C.W. ELLENWOOD. 1950. A survey of the nutrient status of Ohio apple trees. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 55：47—50.
4. BEYERS, E. 1962. Diagnostic leaf analysis for deciduous fruit. S. Afr. J. Agric. Sci. 5：315—329.
5. BOLLARD, E.G., P.M. ASHWIN, and H. J. W. Mc GRATH. 1962. Leaf analysis in the assessment of nutritional status of apple trees. I. The variation in leaf nitrogen, phosphorus, potassium, and magnesium with fertiliser treatment, within seasons and between seasons. New Zealand J. Agric. Res. 5：373—388.
6. BOON, VAN DER J. and A. POUWER. 1960. The effect of nitrogen fertilisation and certain other factors on the chemical composition of apple leaf. Netherlands J. Agric. Sci. 8：317—327.
7. BOULD, C. 1966. Leaf analysis of deciduous fruits. in "Nutritjon of Fruit Crops". Hort. Publications, New Brunswick.
8. CAIN, J.C. and D. BOYNTON. 1948. Some effects of season, fruit crops and nitrogen fertilization on the mineral composition of McIntosh leaves. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 51：13—22.
9. CAIN, J.C. and C.B. SHEAR. 1964. Nutrient deficiencies in deciduous tree fruits and nuts. in "Hunger Signs in Crops" ：287—326. David Mckay Co. New York.
10. FORSHEY, C.G. 1963. Potassium-magnesium deficiency of McIntosh apple trees. Proc. Amer Soc. Hort. Sci. 83：12—20.
11. FREAR, D.E. H. 1946. Response of Stayman apple trees in metal cylinders to varying amounts of inorganic nitrogenous fertilizers and green manures. Pa. Agric. Expt. Sta. Bull. 483：41—100.
12. GRUPPE, W. 1960. Die Bedeutung der Blattanalyse für die Düngung im Obstbau. Erwerbsobstbau 2：198—201, 218—222.
13. ——. und P.G. DE HAAS. 1961. Möglichkeiten und Grenzen der Blattanalyse im Obstbau. Kali-Briefe Fachgebiet 2, 4 Folge：1—12.
14. HEENEY, H.B. and H, HILL. 1961. The use of foliage analyses to determine fertilizer requirements for apple orchards and some vegetable crops. Plant Analysis and Fertilizer Problems：16—27.
15. KENWORTHY, A.L. 1950. Nutrient-element composition of leaves from fruit trees. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 55：41—46.
16. MASON, A.C. and A.B. WHITFIELD. 1959. A progress report on the mineral composition of leaves from selected apple orchards in the eastern counties of England. Ann. Rep. East Malling Res. Sta. for 1958：86—88.
17. 松浦 章. 1959. 肥料便覧. 養賢堂.
18. 望月武雄・花田 慧. 1956. りんご幼木体内成分の季節的消長. 第2報 窒素, 燐酸及び加里. 弘大農報 2：25—39.
19. ——. 1962. りんご樹において果実着生によって惹起される樹勢衰弱現象の解明に関する研究. 弘大農報. 8：40—124.
20. 森 英男・坂本一裕. 1953. りんごの葉分析に関する研究（第1報）青森県下の優良りんご園の葉成分について. 園学雑. 22：129—137.
21. 長井晃四郎・清藤盛正・桜田 哲・鎌田長一. 1967. リンゴのマグネシウム欠乏に関する研究（第2報）

葉成分の品種間差異と葉柄中の成分について．　青森県りんご試験場報告　第11号：67—72．
22. ——・——・——・——．1968．リンゴのマグネシウム欠乏に関する研究（第3報）葉中カリ，カルシウムおよびマグネシウムの季節および年次推移について，　園学雑．37：1—8．
23. 大野達夫・中村幸夫．1963．青森県のりんご園土壌調査報告Ⅰ．　青森県りんご試験場報告第7号：34．
24. ROGERS,B.L. and L.P.BATJER. 1953. Seasonal trend of several nutrient elements in Delicious apple leaves expressed on a per cent and unit area basis. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 61：1—5.
25. SCOTT,L.E. and A.H.THOMPSON. 1955. Present status of leaf analysis in orchard fertilization program. Misc. Pub. No. 260. Md. Agric. Expt.Sta.
26. 渋川潤一・相馬盛雄・泉谷文足・宇野登喜．1958．りんごの葉分析に関する研究（第2報）りんごの養分欠乏症状(2)　園学雑．27：81—88．
27. 渋川伝次郎・渋川潤一．1955．りんご栽培法．369—379．朝倉書店．
28. スネデカー．1962．統計的方法．改訂版：225—235．岩波書店．
29. WALKER,D.R. and D.D.MASON. 1960. Nutritional status of apple orchards in North Carolina. Proc. Amer. Soc. Hort.Sci. 75：22—31.
30. WALLACE,T. 1951. The Diagnosis of Mineral Deficiency in Plants by Visual Symptoms. H. M. S. O., London.
31. WERMINGHAUSEN,B. 1957. Nährstoffmangelerscheinungen im Obstbau und ihre Behebung. Obst- und Gartenbauverlag, München.

Investigations on the long-term fertilizer trial. I.

Nutritional status of Ralls trees in the long-term NPK fertilizer trial at Kuroishi

KOUSHIRO NAGAI, MORIMASA SEITO, SATOSHI SAKURADA and CHOICHI KAMADA

(Aomori Apple Experiment Station)

Summary

Effects of fertilizer treatments on nutrient composition of leaf blade, shoot, branch, root and fruit samples from 48-year-old Ralls trees were reported for the period of 1953-1962. The experimental plots were established in 1931 and continued till 1952 as five plot fertilizer trial including NPK, NK, NP, K, and no fertilizer (O) treatments, in 1953 the K treatment was modified to the PK treatment by application of superphosphate.

There was significant depression in leaf N content of the trees in PK and O treatments and also significant leaf K depression was observed in the case of NP and O treatments, but NK and O treatments had no effect on leaf P content. Despite of the marked increase in yield in the year 1956-1958 by the change of tree spacing from 6.3×6.3m to 6.3×12.6m in 1955, there was no appreciable difference in the levels of leaf nutrient content between before and after spacing. A more likely explanation would be that the increased fruit set may be proportional to the increased tree growth caused by tree spacing, thus nutrient levels of trees are unchanged.

Apparent within- and between-season variations in levels of nutrient elements were observed and the both variations were the least in leaf N compared with that of leaf P and K.

Analysis of N, P, and K content in branches of various age showed that there was significant difference in P content between NPK and NK treatments and that significant difference in K content was also found between NPK and NP treatments, but with regard to N content of branches there observed only significant high N level in the case of NP treatment.

There was no significant difference in N content of middle and small root samples taken eleven times from May 1958 to April 1959 and also no significant differences were observed in P content of large and middle roots, but N content of large root, P content of small root, and K content of all type of roots showed significant decrease by PK, NK or NP treatment, respectively.

The distinct decrease in N, P, and K content of fruits were observed during the early part of the growing season, but from July to harvest time, no appreciable changes of N, P, and K content were found in the fruits. The levels of N or K content of harvested fruits showed slight decrease by PK or NP treatment but P content in fruit showed no appreciable difference with P fertilization. The K concentration of fruit juices from NP and O treatments tended to decrease as the fruit weight decreased, it seems likely that K concentration of fruit may act as a limiting factor for fruit growth in these plots.

The growth, yield, and P content in branch and small root of NK trees as compared with NPK trees implied that the former were below normal level in P status, although the level of leaf P in NK trees was the same as that of NPK trees. This seem to indicate that the response to P fertilization was much more rapid and definite with branch and small root than with foliage.

The levels of N in the PK and O treatments were consistently lower than that of other treatments. Despite of the marked differences of tree growth, leaf and fruit color, and

fruit qualities in the PK and O plots as compared with NPK plot, the leaf N of both PK and O treatments were far above the proposed critical levels.(4,12,13,26,29)

The levels of leaf K in the NP and O treatments reached to proposed critical levels, and slight K deficiency symptoms developed occasionally, but growth and yield of NP plot showed no appreciable differences compared with that of NPK plot, although there observed consistent poorer fruit color in the NP plot.

The Ca and Mg status of fertilized trees, especially in NPK and NK plots, were markedly lower than that of the no fertilizer plot, and Mg deficiency symptoms of various severity were developed in the trees of all treatments except O plot. The results of soil chemical analysis showed that there was significant difference in pH, exchangeable Ca and Mg content between fertilized and no fertilized plots. While there were no lime or magnesia application throughout the experimental period, differences of basic elements in the soil will be due to the leaching losses accelerated by residual effect of sulfate containing fertilizers.