葉 分 析 の 研 究

IX. 水稻の主稈葉、節間部及び穂部の生育に伴う無機要素の 含量並びにその集積及び移行 (その1)*

長谷川 儀一・大庭 高明・西川 欣一
(兵庫農科大学)

緒 言

水稻の栄養診断には各生育期における主稈同位葉の N, P 及び K 含量を比較することにより、夫々要素の過不足状態を判定し得ることについては既報¹⁾を得たが、作物の一生に亘り各葉位が正常生育に於て如何なる栄養状態にあるかを知ることは基礎的に必要であると痛感した。

既に稲の無機成分の大要については古く GILE 等²⁾の報告あり、又小麦については各葉位別の詳細な研究³⁾がある。又玉蜀黍について SAYRE⁴⁾は N, P 及び K 要素の作物体各部における集積に関し報じ、NELSON⁵⁾は玉蜀黍の無機栄養の知識を実際栽培に応用する綜説を論じている。又田中⁶⁾は最近水稻の葉位別に葉の生理機能及び N, P 及び K の代謝と生理的意義に関し詳細な研究を行った。

本報は無機要素の中 N, P 及び K 要素についての結果で、主稈の葉、節間及び穂部について含量変化及び夫等要素の集積及び移行の模様を明かにし、各葉位における之等 3 要素の平衡状態を考察し、又既報¹⁾の N, P 及び K 要素の葉中限界濃度と本実験結果を比較し、これらにより各葉位の水稲生育に及ぼす生理機能の役割を推定したものである。

実験方法

供試品種	水稻農林 37 号 (止葉 16 位)				
耕種概要	圃場位置 篠山町, 大学附属農場				
年度	播種	挿秧	出穂	收穫	
1955	April, 26	June, 11	Aug. 25	Oct. 12	
1956	〃 25	〃 15	Sept. 5	〃 16	
1957	〃 27	〃 13	Aug. 31	〃 16	
1958	〃 25	〃 18	Sept. 2	〃 14	
本田肥料 肥料用石灰反当 20 貫, 硫安, 過石, 硫加各要素共反当 3 貫施用,					
施用期			1955 '56 '57 '58		
			月日	月日	月日
基肥(Pは全量, N & Kは1/3)			6.11	6.13	6.12
追肥 第1回 (N & K1/3)			7.13	7.6	6.29
第2回 (〃)					7.11
穂 肥 (N 0.5 貫/反)			8.5	—	—
栽植密度 10×3 寸 1 本植					

* 昭和 34 年 9 月 22 日第 124 回講演会に於て発表

生育並びに収量成績は別報¹⁰⁾の如し,
試料採取及び調製

1 週間毎に午前 9 時に任意の株 20~50 個体を抜き取り各部位に分つ、70°C に充分乾燥した後粉末となし密栓貯蔵す。

分析法 各要素分析については既報⁹⁾の通り、

結果並びに考察

試験は 1955~58 年に亘り 4 作につき行われたが、各年次共略同一傾向を得たので、茲には主に 1958 年度結果について論ずる。

(1) N 状態

各葉位葉身、葉鞘、節間、穀殻及び穀実部に於ける N% (乾物中) は第 1 図の如くである。N% は葉身の方に高く他部位には低い、葉身では N% は下位程高いが、苗代後期の葉 7, 8 葉より本田初期の葉 10 位葉の N% の方が高かった。これは苗代後期の肥料不足と本田当初の豊富な肥料条件を反映するものであろう。本田下位葉 (8~10 葉) は展開時 4~5% から始まり約 2 週間は高濃度を維持するが、其後 2~3 週間に 1~1.5% へと急低下し枯死に至る。又 N 施肥の感応も葉身 N% に現れ、即ち 6 月 30 日追肥は 9, 10 葉を、7 月 14 日追肥は 11, 12 葉を高めた。本田中位葉 (11~13 葉) は略同じ低下速度を以て減少し葉の生命は前者より長い、本田上位葉 (14~16 葉) は上位程 N% 低くなるが葉令に伴い% を緩かに減少しつつ成熟迄生命を維持した。しかし止葉 16 位は展開時より N% を漸増し開花 2 週間後が Max. で其後減少する。斯様に葉身は展開時の N% は概ね上位程低いが、各葉位共略 1~1.5% にて枯死に至る。葉鞘の N% は葉身に比べ著しく低い、葉身と同傾向である。但し葉鞘は各葉位共展開後 1 週間にて非常に低下しているがこれは葉身に比べ完全伸長が約 1 週間後れる為である。節間中 N% も著しく小さいが各節位共老化に伴い漸減し開花期を Min. とし再び緩増する。これは出穂開花に伴う N の急激な移行に因るものであろう。

N 絶対量の変化 (N% と乾物重変化¹⁰⁾の資料より算出す) については第 2 図に示す通りである。葉身にては各葉位共展開後 1~2 週間に N は Max. に集積され其後は大体同一速度で減少即ち移行する。下位より上位葉へと N 量は多くなり、14 葉が最大量を含み、16

Fig. 1 N. contents in L.B., L.S., I.N. and Grain. (% in dry matter, 1958)

Fig. 2 Seasonal change of N amounts in L.B., L.S., I.N. and Grain. (1958)

葉は 11 葉と略同量である。上位 15, 16 葉は異なる経過をたどるが、開花に伴う穂への移行及び登熟に必要な N 保持の為と思われる。葉鞘中 N 量は夫々葉身の 1/2~1/3 で小さいが、13 葉に最大量含まれる。13~15 位葉の幼穂形成より出穂期にかけての移行が著しく認められる。節間部の N 量は葉鞘中より更に少量であるが出穂後穂に近い上位部よりの移行が著しく窺われる。以上の如く水稻体各部の N は器官完成と共に殆んど集積され其後は又かなり急速に次々の新器官に移行されてゆく事が認められるが、最後に穀実部に集積される N 量 (例えば穀実 100 粒中) と各部よりの N 移行量との収支は如何であろうか、11 葉以上の各部が幼穂形成期以前より成熟に亘り、中位葉と上位葉の 2 部分に分け集積及び移行量を計算すると次の通りになる (11 葉の節間部、穂枝梗及び穀部は除く)。

上位葉及び中位葉部に於ける N 集積並びに移行量
(N mg., 1958)

部分 (L. B. +L. S. +I. N.)	Stage11迄		11~15		15~21	
	移行	集積	移行	集積	移行	集積
中 位 葉 (11~13 th)	7.76	0	10.16	0	2.58	
上 位 葉 (14~16 th)	0	3.64	3.66	0.42	11.68	

即ち中位葉部は幼穂形成期以前より出穂期に亘り移行量大きく、節間及び幼穂伸長に大に与かり、上位葉

部は過半は出穂後移行されて穀実形成に主動的役割をなすことが認められる。

(2) P 状態

各部位の P % は第 3 図の如くであつた。P % は葉身より葉鞘及び節間部に高いことは N の場合と異なる処であつて、葉身に於て概ね下位程高いことは N と同傾向であるが下位葉で % 急低下し、13 位は高濃度を長く維持することは注目される。葉鞘に於ても同様下位程高いが低下速度が急速であることは N と異なり、高濃度より低濃度へと変化の幅が広い、節間に於ては各位共伸長完了後 % 稍上昇し又上位節程成熟にかけ急低下が著しい。即ち成熟迄 P は盛に穂部へ移行される事を示す。

P 絶対量については第 4 図の通りである。P 量は葉身より葉鞘及び節間の方が多量に含まれ、葉身葉鞘共 P 量は既に展開時 Max. であり集積完了されているが下位葉は N の場合に比べ移行され方が少ない、これは P の易動性の為下位葉では常に集積及び移行が並行的に行われる為であろうか、然し中位葉以上では集積、移行は N の場合の如く大きくなる。節間中 P 量は葉鞘同様大きい上位部の開花以後の急減著しく成熟時に於ける上位節の P 残留量は極めて少ない。

Fig. 3 P contents in L.B., L.S., I.N. and Grain. (% in dry matter, 1958)

Fig. 4 Seasonal change of P amounts in L.B., L.S., I.N. and Grain. (1958)

Nの場合同様中位葉と上位葉部の2部分に於けるPの集積及び移行量は次の通りである。

上位葉及び中位葉部に於けるP集積並びに移行量
(P mg., 1958)

部分 (L.B. + L.S. + I.N.)	Stage 11迄		11~15		15~21	
	集積	移行	集積	移行	集積	移行
中位葉 (11~13)	0.18	0.20	0.30	0.45	0	1.00
上位葉 (14~16)	0.08	0	1.17	0.67	0	2.48

これによれば穀実に移行されるP量は出穂期以後でこの中、上位葉のものは中位葉の約3倍に当る。然し乍らこれらのPの含量も穀実中P量の半ばにすぎない。即ち供試部以外よりのP移行及び絶えざる移行が相当あると思われる。

(3) K 状態

各部位のK%は第5図の如くであつた。K%は葉身に於てN%と大体同じ程度の数値であるが、葉身より葉鞘及び節間部に多いこと又その傾向は概ねP%の場合と類似する。即ちK%は葉身より葉鞘に多く、葉身に於てはその展開当初に比較的安定せる濃度を維持するに反し、葉鞘では漸減の一路をたどるのである。葉鞘中K%は亦P%の動向と類似している。即ちPもKも葉身中ではある濃度を維持することが必要であるが

葉鞘及び節間部の如き通導組織では高濃度より低濃度へと減少し枯死に至り変化の幅が大きい。但しPと異なる点は登熟期半ば stage 18 以後Pは低下の一路であつたのに反しK%は多少増加することである。節間中K%は夫々葉鞘より大きい各部位の伸長完成により夫々%を減少してゆく、13, 14位はかくして低濃度に至るが、15位以上では開花 1~2 週間を Min. とし再び%を上昇し成熟期には頂上位穂節間の如きは3%以上にも達す。そして順次下位にK%は低い。

各部位に於けるK絶対量の変化については第6図に示す通りである。K量についてはPの場合の如く葉身より葉鞘に多く含まれる。葉身中K量は 13, 14 葉に最も多く含まれ、葉鞘では 13 葉である。K移行度は幼穂形成期以後葉身より葉鞘に於て大きい、開花 2 週間後に殆んど移行を停止されることはKの特徴で 14 位葉鞘の如きは反つて多少逆に集積される。節間中K量は夫々伸長後 1~2 週間にしてK量 Max. となり其後出穂に伴い移行盛んとなるが出穂 2~3 週間後に停止する¹¹⁾。%の場合は増加するので逆に集積される如く思われるが、見掛けの%変化であつて、開花

Fig. 5 K contents in L.B., L.S., I.N. and Grain. (% in dry matter, 1958)

Fig. 6 Seasonal change of K amounts in L.B., L.S., I.N. and Grain. (1958)

後2週間はK移行が盛んであるが其後は穀実に非らざる上位組織完成の為Kが集積されそのまま残留される事¹²⁾に因ると認められる。

次にはN及びPの場合と同様に中位葉及び上位葉部に於けるK集積及び移行量は、

上位葉及び中位葉部に於けるK集積並びに移行量
(K mg., 1958)

部分 (L.B. + L.S. + I.N.)	stage 11迄		11~15		15~21	
	集積	移行	集積	移行	集積	移行
中位葉 (11~13)	3.30	0	0	12.05	0	2.85
上位葉 (14~16)	0	2.75	5.75	1.85	5.65	11.35

中位葉は出穂迄の器官完成に、上位葉は登熟に大に関与することが分るが、穀実中K量はこの量の一部で充分なので穀実形成に関与するKの役割はN及びPに比べ小さい。それ故Kは穀実以外の組織充実に需要され、葉鞘への逆移行も類推し得ることとなる。

(4) 各葉位に於ける N, P 及び K 要素の移行率について

移行率とは田中⁷⁾により用いられているが、最大量一枯死時最小量/最大量を%で表したもので、各葉位についてNは過半存在する葉身のみを用い、P及びKは葉身、葉鞘共移行率 T.Q. を計算した。第1表の如くである。N, P, K 要素共上及び下位葉に T.Q. 高く中位葉に低い。但しKについては 15, 16 位の上位

葉に T.Q. は低い、穀実には余り含まれないKの特徴による。これらの結果を田中^{7,8)}のと比較すると同氏のN, P, K 共中位葉に於て低下していないのである。これは同氏の早生型水稻に対し、晩生型であること、及び中位葉の存在する時期の環境の相違——晩生型のは高温、高湿及び葉のうっぺい下にある等——にありと推定するものである。

(5) 各葉位に於ける N-P-K 平衡と生育に伴うその変化

N-P-K 平衡とは既報¹⁾の如く各部位に於ける栄養状態の質を表わすと認められ、肥料条件をよく反映したものである。各部位に於ける各組成%及びその図は頁の関係上記載し得ないが、葉身に於ける N-P-K 平衡は本田下位葉はN組成%最も高く葉令進むに伴いNを漸減し之に替りKを増して枯死に至る中位葉は下位葉よりN低く之亦葉令に伴い漸減す。上位葉は展開時に於て中位葉より更にN低いが其後高まり成熟に伴いNを減ずる。K組成%はNと全く逆像の関係にあり、これはP組成%が非常に小さいからである。P組成%は下位葉では約3%でやや減じて枯死に至り、中位葉ではP最も低く始まるが葉令に伴い増して枯死に至る。上位葉はP最も高く、枯死迄高い組成%を維持する。これは穀実形成にP需要度大きいこと

Table 1. Translocation quotient of N, P & K elements in successive leaves (1958)

Leaf Position	T. Q. * (%)				
	N L. B.	P L. B. L. S.		K L. B. L. S.	
8/0	—	—	—	36.5	59.2
9/0	75.9	88.3	76.9	66.6	83.3
10/0	83.9	73.0	60.2	52.3	68.3
11/0	75.1	62.4	30.4	21.7	42.3
12/0	73.9	38.8	22.3	28.9	45.0
13/0	72.4	64.6	61.3	49.2	55.4
14/0	84.2	79.7	72.0	75.4	64.1
15/0	63.4	57.4	78.3	54.6	59.1
16/0	58.5	67.8	78.4	40.5	38.7

* T. Q. = Max. amount—Min. amount/Max. amount×100 %

と関連するものと云えよう。葉鞘に於ては下位葉はN組成%最も大きくK最も小さい。上位葉はN組成%最も小さくK最も大きい。中位葉はこの中間にある。各葉位共葉令に伴いNを減じKを増す傾向はあるが葉身程著しくはない。P組成%は下位葉に低く上位葉に高い。しかし上位は生育に伴い殊に開花以後P組成%を漸減して成熟時には下位葉以下に低下する。葉鞘部でもNとKとは逆像的で、P組成%は幼穂形成—出穂期をMax. としそれ以前と以後は小さい。

節間部及び穂部に於ては13~16位節へと順次上位節N組成%高いが登熟によりKに比べNの移行は後期迄続くので上位節N組成%低くなりて成熟に至る。Kは亦Nと全く逆像的である。P組成%は幼穂形成より出穂にかけ増加するが、開花以降は上位節程減じてゆく、穀実中P組成%は登熟により漸増する。

(9) 既報¹⁾の葉中限界濃度との比較について

既報¹⁾に於て水稻のN, P及びK要素の正常及び欠乏状態を表わす濃度数値(mgm. atom-No./100 g. dry matter)を得たが、之等と正常肥料条件に栽培した1955, 57, 58年度の結果を比較した。第2表に示す通りである。既報のものは吹上農場(僅かに秋落的土壌に属す)にて、本結果は本学附属農場にて得られ土地が異なるのである。これによると1955と58年P値(10葉, 5.4及び5.0)を除けば、何れも正常状態の範囲内に入り既報の数値がよくあてはまる。1955年結果は多少変異大きく、生育初期にN及びP値小さくKが大きい。後期にはN及びPが大きい。この年は7月下旬より8月中旬に亘り旱魃を蒙つたので後期に於けるN及びP数値の大きいのは旱魃の影響と認められよう¹³⁾。

引用文献

- 1) 長谷川儀一・大庭高明：日作紀, 27: 185~190, 1958.
- 2) GILE, P. L. & CARRERO, J. O.: J. Agr. Res., 5: 357~364, 1915.
- 3) Sande-BAKHUYZEN,

Table 2. Critical Leaf Concentration (N, P & K values, mgm. atom-No./100 g. dry matter) compared with 1955, 57 & 58 year's results.

Sta-ge	Leaf Position	Previous Report (1953, 54)				1955	1957	1958	
		Normal M $\pm \sigma$		Deficient M $\pm \sigma$					
N	Top L. B.								
	1	10	389	20.9	326	11.4	317	370	344
	2	12	341	10.0	229	11.5	203	308	300
	3	14	196	22.7	153	13.4	151	214	232
	4	16	180	10.2	169	12.0	198	194	173
	3rd L. B.								
	1	8					300	298	295
	2	10	352	7.3	247	12.7	181	272	298
	3	12	206	22.4	139	7.9	129	195	211
	4	14	149	28.5	138	12.2	157	168	155
P	Top L. S.								
	1	10	14.9	1.4	15.8	1.4	10.5	12.7	11.2
	2	12	12.1	2.3	11.0	2.0	10.4	13.5	9.7
	3	14	10.6	2.4	9.6	2.5	12.4	10.1	9.6
	4	16	6.9	1.4	7.1	1.4	6.1	4.9	6.1
	3rd L. S.								
	1	8					5.6	7.4	8.2
	2	10	9.6	2.7	8.1	2.7	5.4	8.7	6.0
	3	12	7.7	1.3	6.7	1.3	11.0	8.2	8.8
	4	14	7.5	2.2	8.7	2.5	7.2	6.2	5.9
K	Top L. S.								
	1	10	100	21.8	88	10.6	111	87.5	81.9
	2	12	73	11.2	52	13.1	60.6	90.0	76.7
	3	14	50	16.2	40	12.1	43.7	56.8	44.3
	4	16	32	11.9	35	11.1	35.6	49.1	53.0
	3rd L. S.								
	1	8					54.2	21.7	21.8
	2	10	53	9.8	32	12.1	52.9	35.6	46.9
	3	12	45	10.1	24	7.4	49.6	60.1	63.5
	4	14	31	12.6	22	11.6	32.0	38.1	27.4

H. L. van de: Studies on Wheat Grown under Constant Conditions. 1937. 4) SAYRE, J. D.: Plant Physiol., 23: 267~281, 1948. 5) NELSON, L. B.: Adv. Agron., 8: 321~375, 1956. 6) 田中明: 土肥雑, 26: 341~5, 1955. 7) 田中明: 土肥雑, 26: 413~8, 1956. 8) 田中明: 土肥雑, 27: 223~8, 1956. 9) 長谷川儀一・大庭高明: 日作紀, 24: 197~9, 1956. 10) 長谷川儀一・西川欣一: 兵庫農大研報, 4 (1): 44~52, 1959. 11) 村山登・吉野実・川原崎裕司: 土肥雑, 28: 323~6, 1957. 12) 橋本武: 土肥雑, 30: 10~14, 157~161, 1959. 13) LUNDEGÅRDH, H.: Leaf Analysis. Trans. by MITCHELL 1951. (pp. 83)

Studies on Leaf Analysis

IX. Seasonal changes of mineral elements in successive leaves, internodes and ear on the main culm of rice plant, and their accumulation and translocation. (Subpart 1)

Giichi HASEGAWA, Takaaki OBA, and Kinichi NISHIKAWA

(The Hyogo University of Agriculture)

Summary

With a view to obtaining fundamental data for accomplishing the knowledges on leaf analysis of rice plant, the experiments dealt with the seasonal changes of N, P & K contents in the main culm, and the pattern of their accumulation and translocation. There was considered the physiological roles of the successive leaves in the growth process of rice plant. The experiments were carried out under a normal fertilizer condition (N, P_2O_5 & K_2O were applied 3 Kan per Tan, respectively) on a paddy field, using var. *Norin* No. 37, through four crops, 1955~58. As the results obtained from the four season crops, were similar to each other in tendency the 1958 year's results are reported here mainly as follows:

1) The N% (of dry matter) in L.B. (the leaf blade) was higher than that in L.S. (the leaf sheath) & I.N. (the internode). That % became lower in order from the lower leaves to the upper ones. But, the N% in the leaf at early dates in the field (e.g. 10th leaf) was higher than that in the leaf at a later period in the nursery (e.g. 8th leaf). In the field, the N% in lower leaves (8~10th l.) decreased rapidly, and they came to die, while the upper leaves (14~16th l.) at full expansion had lower % than the lower ones, and the N% in them decreased slowly from that time. The middle leaves (11~13th l.) had intermediate N%. Though L.S. had the same above-mentioned trend as L.B., the N% in L.S. as well as in I.N. was lower than that in L.B. 2) N accumulation in the successive leaf blades reached their maximum 1~2 weeks after expansion, and then the element was translocated rapidly. The higher was the position of each L.B., the more amount of the N was found in it. The amount reached a maximum in the 14th L.B., and decreased thereafter, the N amount in the terminal leaf (the 16th) being equal to that in the 11th. N amount in each successive L.S. was about $1/2 \sim 1/3$ times that in the corresponding L.B., and that behavior was similar to that in L.B.. 3) It was found that N in the upper leaves was translocated into the grain, and that in the middle leaves was assumed to play an important role in the stem and ear elongation. 4) P% in L.B. & L.S. decreased from the lower leaf to the upper one successively in the same way as N%, but was higher in L.S. & I.N., which were both conductive tissues, than in L.B. Seasonal changes of P% was smaller in L.B. than in L.S. 5) Maximum P amounts were contained in the 13 or 14th leaf as in the case of N, but P amounts were much more in L.S. than in L.B. P amounts in L.S. decreased more greatly than that in L.B. as the grains ripened. 6) With actual values, P needed for grain formation in upper leaves was found to be approximately 3 times as much as that in middle leaves, so that P in upper ones did act a larger part in ripening. 7) The behavior of K was in the same way as that of P. But unlike the case of P, on later stage of ripening K% in L.S. increased slightly, and that in I.N. did very largely. 8) Seasonal changes of K amounts were in nearly the same manner as that of P, and its translocation in L.S. & I.N. stopped at a later stage of ripening. 9) The role of K in ripening was assumed to be smaller; it was true that the middle leaves contributed to the formation of stem and ear, and the upper ones did to the full ripe of ear, but as the K amount in the grain itself was small, much of the K amounts in upper parts might be regarded to have been utilized for maturation of vegetative tissues. 10) With regard to the translocation quotients in successive leaves, those of N, P & K elements were low in the middle leaves, but high in the lower and upper ones. The facts were assumed to be due to some special characteristics of late maturing type of rice plant and also to different environmental conditions under which the middle leaves lived, as compared with early maturing type. 11) There were considered the N-P-K equilibrium in successive leaves, and its seasonal change. 12) Compared with the values of critical concentrations of N, P & K elements in leaves obtained in the previous report, each value of them in the results of 1955~58 years was generally included within a range of a normal value, respectively.