

ハツカダイコンの生育に対するカリ施肥の効果と体内カリ濃度との関係

誌名	園藝學會雜誌
ISSN	00137626
巻/号	493
掲載ページ	p. 361-374
発行年月	1980年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



ハツカダイコンの生育に対するカリ施肥の効果と 体内カリ濃度との関係

杉山 信男・岩田 正利

(東京大学農学部)

Relationships between the Growth Responses to K Fertilizer and K Concentration in Radishes

Nobuo SUGIYAMA and Masatoshi IWATA

Faculty of Agriculture, University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo 113

Summary

In order to clarify the relationships between the growth responses to K fertilizer and K concentration in radishes under various conditions, pot experiments with factorial design were carried out on the soil containing 91 ppm exchangeable K.

K treatments were consisted of 6 levels, 0g to 8g of K_2SO_4 per pot. Factors combined with K treatments were the light intensity, the soil water regimes, and the amount of N, P, lime, Mg and Na. All pots received 10g of ammonium sulfate and 40g of superphosphate except in the N and the P experiments. Twenty germinated seeds of radishes (var. Ooakamaru) were sown in plastic pots (25cm in diameter, 30cm in depth) filled with 6.5kg of soil (oven dry basis). Seedlings were thinned to six per pot after emergence and harvested at the time when the roots began to enlarge. The largest and the youngest unfolded leaves sampled for chemical analysis were the second and the third ones, respectively, at harvest time.

1. The fresh weight of both tops and roots usually attained to its maximum with application of 4g or 8g of K_2SO_4 , which was regarded as the control levels of K treatments.

2. The amount of K_2SO_4 required to achieved the maximum growth increased with increasing rates of N or P, however, decreased with Na application or shading (see Table 21).

3. 3.2% of K (dry weight basis) in the largest leaves distinguished between K-sufficient and K-insufficient plants except in case where Na was applied (see Table 22). However, K concentration in the youngest unfolded leaves and roots could not distinguish well between K-sufficient and K-insufficient plants.

4. K-sufficient plants sometimes contained less than 3.2% of K in their largest leaves in case where Na was applied.

5. From the above results, the critical K concentration in the largest leaves seemed to be a fixed value if Na concentration in leaves was low.

緒 言

既報(18)において、置換性カリ含量 240 ppm の土壌でカリ以外の土壌養分量や土壌水分含量を変えてハツカダイコンのカリ施肥試験を行ったところ、カリ施肥によって肥大根重が増加した場合には、カリ無施用区の体内カリ濃度が最も若い展開葉では約 3.4% 以下、最大葉で

は約 3.0% 以下、肥大根では約 6.0% 以下となった。このことは、上記の値がハツカダイコンの限界カリ濃度(この値以下になると、生育が劣り始める体内カリ濃度)であることを示唆している。しかしながら、既報(18)の実験では、カリ施肥水準を2段階しか設けなかったので、個々の実験の結果から体内カリの限界濃度を求めることができなかった。また、一般には、体内カリの限界

濃度はカリ以外の養分の体内濃度や土壌水分含量の違いによって変化すると考えられている(1)。

そこで、本報では、カリ施肥水準を6段階に増やし、これと既報(18)で取り上げた7要因の2ないし3水準とを組み合わせた実験を行い、ハツカダイコンの限界カリ濃度を明らかにするとともに、カリ以外の土壌養分量や土壌水分含量を変えた場合に、この値が変化するのか、どうかを確かめようとした。

材料及び方法

この実験で使用した土壌は、既報(18)の実験で使ったのと同じ火山灰土壌で、その置換性カリ含量は91 ppmである。ただし、石灰要因の実験では、この土壌に適当量のイオウ華を加えて、数週間放置し、pH (KCl) を4.5に下げた土壌を使用した。

底に砂利を敷いた1/2,000aワグナーポットに、乾土として6.5kgに相当する量の土壌を詰めた後、25℃で1晩催芽したハツカダイコン(品種は大赤丸)の種子を20粒ずつは種した。子葉展開直後に間引きを行って、1ポット6個体にそろえ、根が肥大し始めるまで栽培した。なお、は種と収穫は第1表に示す時期に行った。

実験は、第1表に示す7要因(窒素、リン酸、石灰、マグネシウム、ナトリウム、光、並びに、土壌水分要因)の2ないし3水準とカリ施肥の6水準とを組み合わせ、乱塊法で実施した。ただし、光要因の実験だけは、シャ光処理を1次因子、カリ施肥を2次因子として、分割法で実施した。カリ施肥の6水準は、ポット当たりの硫酸カリ施用量0, 0.5, 1, 2, 4, 8gに設定した。各処理4ポットを用い、1ポット1反復と考えた。

光要因の実験では、既報(18)の実験で使ったのと同じシャ光わくを4個用い、10月23日以降収穫時まで、一つのシャ光わく内に6ポットを入れて、シャ光処理とした。なお、地上40cm(ポット上縁の高さ)に農試電

試型日射計を置いて、シャ光処理期間中の日射量を測定したところ、シャ光区では1,015 cal/cm²、対照区では1,846 cal/cm²であった。

土壌水分要因の実験では、排水孔をガラス綿でふさいだ1/2,000aワグナーポットに、底に砂利を敷かず、8kgの乾土に相当する量の土壌を詰めた。は種後6日目の3月19日までは、1日1回、ポット重が14.6kg(pF 2.5, 土壌水分含量65.6%の時のポット重)になるまで脱イオン水を加えた。3月20日に、半数のポットに脱イオン水を加えて、ポット重を15.0kg(pF 2, 土壌水分含量70.7%の時のポット重)にした。それ以後は、1日1回同様の操作をくり返した(便宜上、以後、これをpF2処理と呼ぶ)。残り半数のポットには、3月20日以降、ポット重が13.9kg(pF 3, 土壌水分含量58.0%の時のポット重)以下となる3月26日まで、かん水をしなかった。そして、3月27日以降は、1日1回、ポット重が13.9kgになるまで脱イオン水を加えた(以後、これをpF3処理と呼ぶ)。なお、土壌水分要因の実験だけは、無加温のガラス室内で行った。

窒素またはリン酸を要因とした実験以外は、すべてのポットに、基肥として、硫酸アンモニウム10g(Nとして2.1g)と20%過リン酸石灰40g(P₂O₅として8g)を施用した。肥料は、すべて、ポットの上半分の土壌と良くかき混ぜた。なお、過リン酸石灰以外の肥料は、すべて、1級試薬を使用した。

収穫した植物体は、新鮮重を測定した後、最も若い展開葉(多くの場合、第3葉)、最大葉(多くの場合、第2葉)及び根を採って、ポットごとにまとめて、70℃で乾燥した。これを530℃で灰化し、塩酸に溶かして定容とした後、カリ(K)とナトリウム(Na)を炎光法で、カルシウム(Ca)とマグネシウム(Mg)を原子吸光法で、リン(P)をバナドモリブデン酸法で測定した。また、

Table 1. Description of treatments and period of experiments.

Factors combined with K	Treatments	Period of experiments	
		Date of sowing	Date of harvest
N	(NH ₄) ₂ SO ₄ 2.5, 10, 40g/pot	Jun. 10, 1974.	Jun. 24, 1974.
P	CaH ₄ (PO ₄) ₂ ·H ₂ O 14.2, 142g/pot	Oct. 22, 1975.	Nov. 19, 1975.
Lime	Ca(OH) ₂ 0, 25g/pot	Apr. 15, 1976.	May 4, 1976.
Mg	MgSO ₄ ·7H ₂ O 0, 30g/pot	May 2, 1975.	May 16, 1975.
Na	Na ₂ SO ₄ 0, 3g/pot	Apr. 10, 1975.	Apr. 30, 1975.
Light intensity	Control, Shading ¹⁾	Oct. 15, 1974.	Nov. 6, 1974.
Soil water regimes	pF 2, 3 ²⁾³⁾	Mar. 13, 1975.	Apr. 3, 1975.

1) Shade treatment which reduced the light intensity by 45% was begun on Oct. 23, 1974.

2) Treatment was begun on March 20, 1975.

3) Experiment was carried out in a glasshouse.

窒素要因の実験では、最も若い展開葉と最大葉を除いた地上部を乾燥し、ガンニング変法で全窒素(N)を定量した。得られた結果は、すべて、乾物当たりの%として表示した。

収穫時の地上部重と根重について、分散分析を行った。そして、交互作用が有意な場合には、奥野ら(15)の方法にしたがって、カリ施肥と組み合わせた要因のそれぞれの水準ごとに、カリ施肥水準間の比較を行った。交互作用が有意でなく、カリ施肥の主効果が有意になった場合には、カリ施肥と組み合わせた要因の2ないし3水準の値を平均し、その値について、カリ施肥水準間の比較を行った。いずれの場合でも、硫酸カリ 4g 区及び 8g 区(この2区を対照区とする)のどちらと比べても、地上部重または根重が有意に劣った区は、カリ施肥量が不十分であるとみなした。なお、植物体重についての結果を示した表の中に†印の付いた数値があるが、これは対照区のそれと有意な差があることを示している。

結 果

1. 窒素要因

硫酸アンモニウムを 2.5g 施用した場合には、硫酸カリを 0.5g 以上施用した区の地上部重に、また、1g 以

上施用した区の根重に有意差は認められなかった(第2表)。また、硫酸アンモニウムを 10g 施用した場合には、硫酸カリを 1g 以上施用すると、地上部重、根重ともに、対照区と有意差が認められなくなった。ところが、硫酸アンモニウムを 40g 施用した場合には、硫酸カリを 2g 施用しても、対照区に比べると、地上部重は有意に劣った。

窒素の施用量が増えるとともに、根重は低下した。また、硫酸アンモニウムの施用量を 2.5g または 10g から 40g に増やすと、硫酸カリ 8g 区を除き、地上部重も有意に低下した。しかしながら、硫酸カリ 0g 区を除くと、硫酸アンモニウムを 2.5g 施用した場合と 10g 施用した場合とで、地上部重に有意差は認められなかった。

硫酸アンモニウムの施用量を 2.5g または 10g から 40g に増やすと、硫酸カリ 0g 区を除き、葉中カリ濃度は著しく低下した(第3表)。ところが、硫酸アンモニウムの施用量を 2.5g から 10g に増やしても、葉中カリ濃度にはっきりした変化は認められなかった。

最も若い展開葉と最大葉を除いた地上部の窒素濃度は、窒素の施用量を増やすと高まったが、カリの施用量

Table 2. Effects of N and K supply on the fresh weight of radish tops and roots (g/pot).

(NH ₄) ₂ SO ₄ g/pot	Tops				Roots			
	2.5	10	40	K means	2.5	10	40	K means
0	12.50 ^{†2)}	9.75 [†]	2.24 [†]	8.16	0.81	0.70	0.13	0.55 [†]
0.5	15.95	13.95 [†]	6.15 [†]	12.02	1.52	1.40	0.38	1.10 [†]
K ₂ SO ₄ g/pot	1	18.09	16.60	9.41 [†]	14.70	2.45	1.84	1.63
	2	17.39	18.58	11.31 [†]	15.76	2.26	1.87	1.66
	4	17.62	17.08	14.65	16.45	2.74	2.16	1.35
	8	16.71	17.92	15.46	16.70	2.73	2.17	1.30
N means	16.38	15.65	9.87		2.09	1.69	0.77	
N		** ¹⁾				**		
Significance K		**				**		
N × K		*				N.S.		
L. S. D. 5% N within K ³⁾		2.75				—		
L. S. D. 5% K within N ⁴⁾		3.30				—		
L. S. D. 5% N in N means ⁵⁾		—				0.29		
L. S. D. 5% K in K means ⁶⁾		—				0.50		

1) Asterisks in all tables refer to the following levels of significance.

**=significant at the 5% level.

***=significant at the 1% level.

N.S.=non-significant at the 5% level.

2) Values marked with † are significantly different at the 5% level from those in the control treatments (where 4g or 8g of K₂SO₄ is applied) on the same vertical column.

3) L. S. D. (P=0.05) between values in each level of K.

4) L. S. D. (P=0.05) between values in each level of N.

5) L. S. D. (P=0.05) between average values of 6 K levels.

6) L. S. D. (P=0.05) between average values of 3 N levels.

Table 3. Effects of N and K supply on K concentration of radish leaves (% in dry matter).

(NH ₄) ₂ SO ₄ g/pot	The youngest unfolded leaves				The largest leaves			
	2.5	10	40	K means	2.5	10	40	K means
0	1.41	1.62	1.36	1.46	1.03	1.29	1.18	1.17
0.5	3.14	3.03	1.80	2.65	2.60	2.68	1.47	2.25
K ₂ SO ₄ g/pot	1	4.14	3.80	2.41	3.45	3.71	1.91	2.97
	2	4.49	4.26	2.92	3.89	4.39	4.26	3.83
	4	4.71	4.91	3.78	4.46	4.60	5.02	4.43
	8	4.71	4.75	4.13	4.53	4.70	5.08	4.78
N means	3.76	3.72	2.73		3.50	3.60	2.61	
N		**				**		
Significance K		**				**		
N × K		**				**		
L. S. D. 5% N within K		0.42				0.37		
L. S. D. 5% K within N		0.51				0.45		

Table 4. Effects of N and K supply on N concentration of radish tops exclusive of the youngest unfolded and the largest leaves (% in dry matter).

(NH ₄) ₂ SO ₄ g/pot	2.5	10	40	K means	
0	5.21	6.53	6.77	6.20	
0.5	6.27	7.13	7.29	6.90	
K ₂ SO ₄ g/pot	1	6.64	6.85	6.89	
	2	6.06	6.60	7.16	6.61
	4	5.78	6.64	7.05	6.49
	8	6.53	7.06	7.31	6.97
N means	6.08	6.80	7.13		
N		**			
Significance K		**			
N × K		*			
L. S. D. 5% N within K		0.47			
L. S. D. 5% K within N		0.58			

を増やしても一定の変化を示さなかった (第4表).

2. リン酸要因

第一リン酸カルシウムを 14.2 g (P₂O₅ として 8 g) 施用した場合には、硫酸カリを 1 g 以上施用した区と対照区 (ここでは硫酸カリ 8 g 区) の地上部重の間に、また、硫酸カリ 2 g 区と対照区 (ここでは硫酸カリ 4 g 区) の根重の間に有意差は認められなかった (第5表). ところが、第一リン酸カルシウムを 142 g 施用した場合には、硫酸カリを 2 g 施用しても、対照区に比べると、地上部重は有意に劣った. なお、第一リン酸カルシウムの施用量を 14.2 g から 142 g に増やすと、硫酸カリ 8 g 区を除き、地上部重は、わずかではあるが低下した. ところが、根重は、リン酸の施用量を増やしても、ほとんど変化しなかった.

リン酸の施用量を増やすと、葉中カリ濃度は、硫酸カリ 0 g 区を除き、わずかではあるが低下し (第6表)、一

Table 5. Effects of P and K supply on the fresh weight of radish tops and roots (g/pot).

CaH ₄ (PO ₄) ₂ ·H ₂ O g/pot	Tops			Roots		
	14.2	142	K means	14.2	142	K means
0	7.57 [†]	6.22 [†]	6.90	0.49	0.41	0.45 [†]
0.5	14.05 [†]	12.35 [†]	13.20	2.02	1.45	1.74 [†]
K ₂ SO ₄ g/pot	1	15.94	14.38 [†]	15.16	2.13	2.22 [†]
	2	17.25	15.23 [†]	16.24	3.13	3.06
	4	19.54	17.60	18.57	3.27	3.26
	8	17.63	18.94	18.28	4.03	3.83
P means	15.33	14.12		2.45	2.40	
P		**			N. S.	
Significance K		**			**	
P × K		*			N. S.	
L. S. D. 5% P within K		1.47			—	
L. S. D. 5% K within P		2.19			—	
L. S. D. 5% K in K means		—			0.71	

Table 6. Effects of P and K supply on K concentration of radish leaves (% in dry matter).

CaH ₄ (PO ₄) ₂ ·H ₂ O g/pot	The youngest unfolded leaves			The largest leaves		
	14.2	142	K means	14.2	142	K means
0	1.72	1.73	1.72	1.03	1.04	1.03
0.5	2.77	2.52	2.65	2.02	1.71	1.86
1	3.42	3.24	3.33	2.59	2.37	2.48
K ₂ SO ₄ 2 g/pot	4.41	3.74	4.08	3.47	2.99	3.23
4	4.93	4.42	4.68	4.31	3.60	3.95
8	5.02	4.47	4.75	4.68	4.19	4.43
P means	3.71	3.35		3.01	2.65	
P		**			**	
Significance K		**			**	
P × K		**			**	
L. S. D. 5% P within K		0.26			0.26	
L. S. D. 5% K within P		0.39			0.39	

Table 7. Effects of P and K supply on P concentration of radish leaves (% in dry matter).

CaH ₄ (PO ₄) ₂ ·H ₂ O g/pot	The youngest unfolded leaves			The largest leaves		
	14.2	142	K means	14.2	142	K means
0	0.96	1.04	1.00	0.84	0.86	0.85
0.5	0.95	1.12	1.03	0.73	0.81	0.77
1	0.96	1.15	1.05	0.70	0.85	0.78
K ₂ SO ₄ 2 g/pot	1.03	1.04	1.04	0.69	0.75	0.72
4	0.97	1.09	1.03	0.70	0.75	0.73
8	1.01	1.05	1.03	0.66	0.73	0.70
P means	0.98	1.08		0.72	0.79	
P		**			**	
Significance K		N. S.			**	
P × K		N. S.			N. S.	
L. S. D. 5% K in K means		—			0.06	

Table 8. Effects of lime and K supply on the fresh weight of radish tops and roots (g/pot).

Ca(OH) ₂ g/pot	Tops			Roots		
	0	25	K means	0	25	K means
0	4.85	8.57	6.71 [†]	0.35 [†]	0.83 [†]	0.59
0.5	5.47	11.37	8.42 [†]	0.52 [†]	1.94	1.23
1	5.05	10.87	7.96 [†]	0.67	1.95	1.31
K ₂ SO ₄ 2 g/pot	8.13	12.89	10.51	1.46	2.36	1.91
4	7.47	12.77	10.12	1.31	2.72	2.02
8	7.77	13.16	10.46	1.37	2.36	1.87
Lime means	6.46	11.60		0.95	2.02	
Lime		**			**	
Significance K		**			**	
Lime × K		N. S.			*	
L. S. D. 5% Lime within K		—			0.52	
L. S. D. 5% K within Lime		—			0.78	
L. S. D. 5% K in K means		1.50			—	

Table 9. Effects of lime and K supply on K concentration of radish leaves (% in dry matter).

Ca(OH) ₂ g/pot	The youngest unfolded leaves			The largest leaves		
	0	25	K means	0	25	K means
0	1.51	1.27	1.39	1.43	1.28	1.36
0.5	2.79	2.60	2.69	2.99	2.35	2.67
K ₂ SO ₄ g/pot	1	3.08	2.88	3.07	2.84	2.95
	2	4.02	3.30	3.66	4.41	3.37
	4	4.30	3.56	3.93	4.69	3.81
	8	4.61	4.00	4.31	4.77	4.08
Lime means	3.38	2.93		3.56	2.95	
Significance		Lime	**		**	
		K	**		**	
		Lime×K	*		*	
L. S. D. 5% Lime within K			0.28		0.37	
L. S. D. 5% K within Lime			0.42		0.55	

Table 10. Effects of lime and K supply on Ca concentration of radish leaves (% in dry matter).

Ca(OH) ₂ g/pot	The youngest unfolded leaves			The largest leaves		
	0	25	K means	0	25	K means
0	0.78	1.34	1.06	0.87	1.60	1.23
0.5	0.64	1.16	0.90	0.72	1.45	1.09
K ₂ SO ₄ g/pot	1	0.58	1.03	0.80	1.44	1.07
	2	0.65	1.16	0.90	1.59	1.19
	4	0.64	1.12	0.88	0.73	1.41
	8	0.60	0.93	0.76	0.75	1.28
Lime means	0.65	1.12		0.76	1.46	
Significance		Lime	**		**	
		K	*		*	
		Lime×K	N. S.		N. S.	
L. S. D. 5% K in K means			0.20		0.20	

Table 11. Effects of Mg and K supply on the fresh weight of radish tops and roots (g/pot).

MgSO ₄ ·7H ₂ O g/pot	Tops			Roots		
	0	30	K means	0	30	K means
0	14.33	13.48	13.90'	2.47	2.21	2.34'
0.5	16.23	14.15	15.19'	3.72	2.94	3.33
K ₂ SO ₄ g/pot	1	17.00	15.74	3.83	2.97	3.40
	2	17.65	16.04	3.94	3.94	3.94
	4	17.16	16.84	17.00	4.06	3.96
	8	18.42	16.24	17.33	4.01	3.97
Mg means	16.80	15.41		3.67	3.33	
Significance		Mg	**		**	
		K	**		**	
		Mg×K	N. S.		N. S.	
L. S. D. 5% K in K means			1.63		0.69	

方、葉中リン濃度は高まった(第7表)。また、最大葉リン濃度は、カリの施用量を増やすと、低下する傾向を示した。

3. 石灰要因

石灰を施用した場合には、硫酸カリを2g以上施用した区の地上部重の間に、また、0.5g以上施用した区の根重の間に有意差が認められなかった(第8表)。これ

に対して、石灰を施用しなかった場合には、硫酸カリを 2g 施用すると、地上部重、根重ともに、対照区との間に有意差が認められなくなった。なお、石灰を施用すると、地上部重、根重ともに著しく増加した。

石灰を施用すると、葉中カリ濃度は低下する傾向を示し(第9表)、一方、葉中カルシウム濃度は著しく高まった(第10表)。また、カリの施用量を増やすと、葉中カルシウム濃度は、わずかではあるが低下する傾向を示した。

4. マグネシウム要因

マグネシウムを施用した場合も、施用しなかった場合も、硫酸カリを 1g 以上施用した区の地上部重の間に、また、0.5g 以上施用した区の根重の間に有意差は認められなかった(第11表)。なお、マグネシウムを施用すると、地上部重、根重ともに、わずかではあるが低下した。

マグネシウムを施用すると、葉中カリ濃度は、わずかではあるが低下し(第12表)、一方、葉中マグネシウム

濃度は著しく高まった(第13表)。なお、カリの施用量を増やしても、葉中マグネシウム濃度はほとんど変化しなかった。

5. ナトリウム要因

ナトリウムを施用しなかった場合には、硫酸カリを 0.5g 以上施用した区の地上部重の間に、また、1g 以上施用した区の根重の間に有意差が認められなかった(第14表)。ところが、ナトリウムを施用した場合には、地上部重、根重のいずれも、硫酸カリ 0.5g 区と対照区との間に有意差は認められなかった。なお、ナトリウムを施用すると、カリの施用量が少ない場合(硫酸カリ 0~1g 区)には、根重はかなり増加した。

ナトリウムを施用すると、葉中カリ濃度は低下し(第15表)、一方、葉中ナトリウム濃度は高まった(第16表)。また、カリの施用量を増やすと、葉中ナトリウム濃度は低下した。

6. 光要因

シャ光処理をしなかった場合には、硫酸カリを 1g 以

Table 12. Effects of Mg and K supply on K concentration of radish leaves (% in dry matter).

MgSO ₄ ·7H ₂ O g/pot	The youngest unfolded leaves			The largest leaves		
	0	30	K means	0	30	K means
0	2.55	2.51	2.53	2.42	2.29	2.36
0.5	3.31	3.28	3.29	2.99	2.90	2.95
K ₂ SO ₄ g/pot	1	3.98	3.79	3.88	3.81	3.78
	2	4.40	4.07	4.24	4.39	4.23
	4	4.44	4.12	4.28	4.68	4.54
	8	4.80	4.52	4.66	4.82	4.59
Mg means	3.91	3.71		3.85	3.63	
Significance Mg		**			**	
Significance K		**			**	
Significance Mg×K		N. S.			N. S.	
L. S. D. 5% K in K means		0.31			0.32	

Table 13. Effects of Mg and K supply on Mg concentration of radish leaves (% in dry matter).

MgSO ₄ ·7H ₂ O g/pot	The youngest unfolded leaves			The largest leaves		
	0	30	K means	0	30	K means
0	0.29	0.55	0.42	0.30	0.64	0.47
0.5	0.28	0.54	0.41	0.30	0.63	0.47
K ₂ SO ₄ g/pot	1	0.26	0.56	0.41	0.27	0.45
	2	0.27	0.53	0.40	0.28	0.44
	4	0.25	0.53	0.39	0.28	0.43
	8	0.26	0.56	0.41	0.28	0.43
Mg means	0.27	0.55		0.28	0.61	
Significance Mg		**			**	
Significance K		N. S.			N. S.	
Significance Mg×K		N. S.			N. S.	

Table 14. Effects of Na and K supply on the fresh weight of radish tops and roots (g/pot).

Na ₂ SO ₄ g/pot	Tops			Roots		
	0	3	K means	0	3	K means
0	9.94	11.86	10.90 ^t	1.50 ^t	2.17 ^t	1.83
0.5	14.05	14.90	14.48	2.46 ^t	3.17	3.09
1	13.74	15.66	14.70	3.14	4.06	3.59
K ₂ SO ₄ 2 g/pot	15.19	15.72	15.45	4.50	4.57	4.53
4	15.94	14.75	15.34	4.51	4.01	4.26
8	15.63	16.26	15.95	3.83	5.17	4.50
Na means	14.08	14.86		3.32	3.95	
Na		N. S.			**	
Significance K		**			**	
Na×K		N. S.			*	
L. S. D. 5% Na within K		—			0.85	
L. S. D. 5% K within Na		—			1.27	
L. S. D. 5% K in K means		2.41			—	

Table 15. Effects of Na and K supply on K concentration of radish leaves (% in dry matter).

Na ₂ SO ₄ g/pot	The youngest unfolded leaves			The largest leaves		
	0	3	K means	0	3	K means
0	2.31	2.32	2.32	1.95	1.72	1.83
0.5	3.21	2.92	3.07	2.82	2.50	2.66
1	3.76	3.38	3.57	3.46	3.05	3.25
K ₂ SO ₄ 2 g/pot	4.20	3.89	4.04	3.90	3.71	3.81
4	4.60	4.27	4.44	4.77	4.14	4.45
8	5.00	4.69	4.85	5.14	4.49	4.81
Na means	3.85	3.58		3.67	3.27	
Na		**			**	
Significance K		**			**	
Na×K		N. S.			N. S.	
L. S. D. 5% K within Na		0.44			0.58	

Table 16. Effects of Na and K supply on Na concentration of radish leaves (% in dry matter).

Na ₂ SO ₄ g/pot	The youngest unfolded leaves			The largest leaves		
	0	3	K means	0	3	K means
0	0.54	1.07	0.80	0.51	1.11	0.81
0.5	0.38	0.73	0.56	0.39	0.84	0.62
1	0.28	0.57	0.42	0.29	0.61	0.45
K ₂ SO ₄ 2 g/pot	0.19	0.41	0.30	0.23	0.46	0.35
4	0.16	0.29	0.22	0.15	0.33	0.24
8	0.14	0.26	0.20	0.14	0.33	0.23
Na means	0.28	0.55		0.28	0.61	
Na		**			**	
Significance K		**			**	
Na×K		**			**	
L. S. D. 5% Na within K		0.08			0.07	
L. S. D. 5% K within Na		0.12			0.10	

Table 17. Effects of light intensity and K supply on the fresh weight of radish tops and roots (g/pot).

Light intensity	Tops			Roots		
	Control	Shading	K means	Control	Shading	K means
0	8.60	5.98	7.29'	0.82'	0.39'	0.60
0.5	10.95	7.25	9.10'	1.17'	0.55	0.86
1	11.51	8.45	9.96	1.23'	0.69	0.96
K ₂ SO ₄ 2 g/pot	11.41	8.51	9.98	1.50	0.69	1.10
4	13.01	9.42	11.21	1.73	0.74	1.23
8	13.16	9.41	11.28	1.98	0.75	1.36
Light intensity means	11.41	8.17		1.40	0.63	
Significance Shading		**			**	
Significance K		**			**	
Significance Shading × K		N. S.			**	
L. S. D. 5% Shading within K		—			0.48	
L. S. D. 5% K within Shading		—			0.35	
L. S. D. 5% K in K means		1.68			—	

Table 18. Effects of light intensity and K supply on K concentration of radish leaves (% in dry matter).

Light intensity	The youngest unfolded leaves			The largest leaves		
	Control	Shading	K means	Control	Shading	K means
0	1.74	2.25	1.99	1.42	2.01	1.71
0.5	2.79	3.15	2.97	2.30	2.94	2.62
1	3.17	3.65	3.41	2.92	3.46	3.19
K ₂ SO ₄ 2 g/pot	3.62	4.27	3.95	3.37	4.41	3.89
4	4.04	4.85	4.44	3.64	4.67	4.15
8	4.25	5.01	4.63	4.02	4.83	4.43
Light intensity means	3.27	3.86		2.94	3.72	
Significance Shading		**			**	
Significance K		**			**	
Significance Shading × K		N. S.			N. S.	
L. S. D. 5% K in K means		0.27			0.61	

Table 19. Effects of soil water regimes and K supply on the fresh weight of radish tops and roots (g/pot).

pF	Tops			Roots		
	2	3	K means	2	3	K means
0	8.00'	5.78'	6.89	1.00	0.65	0.82'
0.5	9.92'	6.69'	8.18	1.65	0.85	1.25'
1	11.90	7.73	9.81	2.08	1.22	1.65
K ₂ SO ₄ 2 g/pot	12.00	8.16	10.08	2.16	1.42	1.79
4	12.78	9.01	10.89	2.29	1.70	1.99
8	12.73	9.57	11.15	2.09	1.83	1.96
pF means	11.22	7.82		1.88	1.28	
Significance pF		**			**	
Significance K		**			**	
Significance pF × K		**			N. S.	
L. S. D. 5% pF within K		1.40			—	
L. S. D. 5% K within pF		2.09			—	
L. S. D. 5% K in K means		—			0.48	

Table 20. Effects of soil water regimes and K supply on K concentration of radish leaves (% in dry matter).

pF	The youngest unfolded leaves			The largest leaves		
	2	3	K means	2	3	K means
0	2.40	2.01	2.20	2.16	1.94	2.05
0.5	3.26	2.97	3.11	3.03	2.85	2.94
1	3.91	3.43	3.67	3.80	3.46	3.63
K ₂ SO ₄ 2 g/pot	4.44	3.90	4.17	4.55	4.17	4.36
4	5.01	4.61	4.81	5.03	4.53	4.78
8	5.13	4.98	5.05	5.29	4.96	5.12
pF means	4.02	3.65		3.97	3.65	
pF		**			**	
Significance K		**			**	
pF × K		N. S.			N. S.	
L. S. D. 5% K in K means		0.33			0.26	

上施用した区と対照区の地上部重の間に、また、硫酸カリ 2g 区と対照区(ここでは硫酸カリ 4g 区)の根重の間に有意差は認められなかった(第 17 表)。ところが、シャ光処理をした場合には、硫酸カリを 1g 以上施用した区の地上部重の間に、また、0.5g 以上施用した区の根重の間に有意差は認められなかった。

シャ光処理を行うと、地上部重、根重はともに低下し、葉中カリ濃度は高まった(第 18 表)。

7. 土壌水分要因

土壌水分含量にかかわらず、硫酸カリを 1g 以上施用した区の間では、地上部重にも、根重にも有意差は認められなかった(第 19 表)。土壌水分含量が低下すると(pF 3)、地上部重、根重はともに低下し、葉中カリ濃度も低下した(第 20 表)。

考 察

1. カリ施肥の効果に影響を及ぼす要因

本報の各実験において、地上部重並びに根重が最大になるのは、多くの場合、硫酸カリ 4g 区または 8g 区であった。例外は、窒素要因の実験で硫酸アンモニウムを 2.5g または 10g 施用した場合と石灰要因の実験で石灰を施用しなかった場合であり、地上部重は、それぞれ、硫酸カリ 1g 区、2g 区、2g 区で最大となった。

また、石灰要因の実験では、根重も硫酸カリ 2g 区で最大となった。しかしながら、これらの場合でも、硫酸カリ 4g 区または 8g 区に比べて、地上部重あるいは根重が有意にまさる区はなかった。さらに、いずれの実験においても、硫酸カリ 4g 区と 8g 区の間では、地上部重並びに根重に有意差は認められなかった。そこで、本報では、硫酸カリ 4g 区及び 8g 区を対照区とし、これら 2 区のどちらと比較しても、地上部重あるいは根重が劣った区は、カリ施肥量が不十分であると考えた。

第 21 表によると、カリ施肥量が不十分のために生育が低下し始める区は一定でなく、硫酸カリ 0g 区と 2g 区との間を変動した。そこで、カリ施肥量が不十分のために生育が低下し始める区が、どのような要因によって左右されるのかを検討してみたい。まず、窒素要因の実験で硫酸アンモニウムの施肥量を 2.5g または 10g から 40g に増やすと、生育が低下し始める区は硫酸カリ 0.5g 区から 2g 区へと変化した。窒素の施肥量を増やすと、カリ施肥量が不十分のために生育が低下し始めるカリ施肥水準(施肥量)が高くなることは、これまでも、MacLeod ら(13, 14)がルタバガ、チモン、オーチャードグラス、ラジノクローバで、Halevy ら(6, 7)がワタで、但野ら(20)がテンサイで確かめている。

次に、リン酸要因の実験で第一リン酸カルシウムの施肥量を 14.2g から 142g に増やすと、生育が低下し始める区は硫酸カリ 1g 区から 2g 区へと変化した。また、ナトリウム要因の実験でナトリウムを施用すると、生育が低下し始める区は硫酸カリ 0.5g 区から 0g 区へと変化した。ナトリウムを施用すると、生育が低下し始めるカリ施肥水準が低下することは、Larson ら(9)もアマエンバクで、また、Smith(17)もローズグラスで確かめている。

Scharrer ら(16)は、エンドウで、軽度のシャ光を行うと、生育が低下し始めるカリ施肥水準が高くなることを確かめているが、本報では、これとは逆に、シャ光をすると、生育が低下し始める区は硫酸カリ 1g 区から 0.5g 区へと変化した。この相違がどのような原因によるのかは明らかでないが、シャ光の程度が異なったことが一因になっているのかも知れない。

マグネシウム、石灰、土壌水分要因の実験では、これらの要因の水準に関係なく、生育が低下し始める区は、

Table 21. The amount of K_2SO_4 which is sufficient and insufficient for the maximum growth in both tops and roots.

Factors :	Treatments	The amount of K_2SO_4 (g/pot)	
		Insufficient	Sufficient
N : $(NH_4)_2SO_4$	2.5 g/pot	0.5	1
	10 # ¹⁾	0.5	1
	40	2	4
P : $CaH_4(PO_4)_2 \cdot H_2O$	14.2 # g/pot	1	2
	142	2	4
Lime : $Ca(OH)_2$	0 g/pot	1	2
	25 #	1	2
Mg : $MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0 # g/pot	0.5	1
	30	0.5	1
Na : Na_2SO_4	0 # g/pot	0.5	1
	3	0	0.5
Light intensity	: Control #	1	2
	Shading	0.5	1
Soil water regimes	: pF 2 #	0.5	1
	pF 3	0.5	1

1) # indicates the control level of factors combined with K treatments.

それぞれ、硫酸カリ 0.5 g 区、1 g 区、0.5 g 区で、一定であった。しかしながら、Carolus ら(3)はトマトで、また、York ら(23)はアルファルファで、石灰を施用すると、生育が低下し始めるカリ施肥水準が高くなることを明らかにしている。さらに、MacKay ら(11)は、トウモロコシとインゲンで、かん水をすると、生育が低下し始めるカリ施肥水準が高くなることを明らかにしている。したがって、石灰や土壌水分要因の水準を変えると、生育が低下し始めるカリ施肥水準が変化する可能性はあるが、変化するとしても、その程度はかなり小さいと思われる。

上述のように、カリ施肥量が不十分なために生育が低下し始める区は、窒素、リン酸、ナトリウム、光要因によって左右されるが、窒素要因の水準を変えた場合には硫酸カリ 0.5 g 区、1 g 区、2 g 区の3区間を、また、リン酸、ナトリウム、光要因の水準を変えた場合には、それぞれ、硫酸カリ 1 g 区と 2 g 区、0 g 区と 0.5 g 区、0.5 g 区と 1 g 区の2区間を変動した。したがって、本実験の範囲内では、上記の7要因がカリ施肥の効果に及ぼす影響の程度は、窒素>リン酸、ナトリウム、光>石灰、マグネシウム、土壌水分の順になると思われる。

ところで、カリ施肥と組み合わせた各要因の対照となる水準においては、栽培時期以外の条件はほぼ同じであるにもかかわらず、カリ施肥量が不十分なために生育が

低下し始める区は、硫酸カリ 0.5 g 区と 1 g 区の2区間を変動した。したがって、栽培時期の違いに関連した要因が、カリ施肥の効果に対して、リン酸、ナトリウム、光要因と同程度の影響を及ぼしていると考えられる。しかしながら、既報(18, 19)の結果によれば、栽培時期の違いに関連すると思われる要因は、カリ施肥の効果に対して、窒素要因と同程度の影響を及ぼしており、この要因が及ぼす影響の程度については、さらに検討を加える必要がある。

2. カリ施肥の効果と体内カリ濃度との関係

第 22 表は、第 21 表に示した2区(カリ施肥量が不十分なために生育が低下し始める区とカリ施肥量がそれより1水準高い区)の体内カリ濃度を一覧表にしたものである。これによると、ハツカダイコンでは、ナトリウムを施用した場合を除くと、最大葉カリ濃度で 3.2% 前後の値を境にして、上述の2区が区分される。このことは、最大葉における限界カリ濃度は、ナトリウム以外の要因の水準を変えても、ほとんど変化しないことを示していると思われる。しかしながら、MacKay ら(12)は、トウモロコシで、かん水をすると、最も若い成熟葉における限界カリ濃度が高まることを明らかにしている。また、Lundegårdh(10)は、その著書の中で、葉中窒素、リン酸、カルシウム濃度が異なると、限界カリ濃度が変化することを明らかにしている。このほか、Grant Lipp ら(4)、Gustein(5)、Walker ら(22)、Bould(2)も、体内窒素、リン酸、マグネシウム濃度が限界カリ濃度に影響を及ぼすことを確かめている。本報の窒素、リン酸、石灰、マグネシウム要因の実験では、水準の違いによって、これらの養分の葉中濃度は大きく変化した。限界カリ濃度の変化は認められず、MacKay ら(12)や Lundegårdh(10)らの結果とは異なった。これは、MacKay ら(12)を初めとして、上述の研究者達は、生育途中の葉中カリ濃度と最終的な収量との関係から限界カリ濃度を求めているのに対し、本報では、Ulrich(21)と同様、生育途中の葉中カリ濃度とその時の植物体重との関係から限界カリ濃度を求めていることにも関連があると思われる。

また、本報では、ナトリウムを施用しない場合には、最も若い展開葉と根における限界カリ濃度は、一応、それぞれ、3.5% と 6.1% 前後になると思われた。しかしながら、これらの部位では、ナトリウム要因の実験以外にも、上述の値によって、カリ施肥量が不十分なために生育が低下し始める区とカリ施肥量がそれより1水準高い区とを区分できない場合があった。したがって、最も若い展開葉や根における限界カリ濃度は、ナトリウム以

Table 22. K concentration of various parts in plants which were grown with insufficient and sufficient amount¹⁾ of K₂SO₄ (% in dry matter).

Factors	Treatments		The youngest unfolded leaves		The largest leaves		Roots	
			Insuf.	Suf.	Insuf.	Suf.	Insuf.	Suf.
N	(NH ₄) ₂ SO ₄	2.5 g/pot	3.14	4.14	2.60	3.71	5.39	7.13
		10	3.03	3.80	2.68	3.28	5.46	6.25
		40	2.92	3.78	2.85	3.68	5.29	6.50
P	CaH ₄ (PO ₄) ₂ ·H ₂ O	14.2 g/pot	3.42	4.41	2.59	3.47	5.83	6.89
		142	3.74	4.42	2.29	3.60	6.13	6.89
Lime	Ca(OH) ₂	0 g/pot	3.08	4.02	3.07	4.41	5.17	6.01
		25	2.88	3.30	2.84	3.37	5.69	6.06
Mg	MgSO ₄ ·7H ₂ O	0 g/pot	3.31	3.98	2.99	3.81	6.09	6.82
		30	3.28	3.79	2.90	3.75	6.05	6.70
Na	Na ₂ SO ₄	0 g/pot	3.21	3.76	2.82	3.46	5.83	6.55
		3	2.32	2.92	1.72	2.50	4.11	5.26
Light intensity	Control		3.17	3.62	2.92	3.37	5.89	6.73
		Shading	3.15	3.65	2.94	3.46	5.47	6.15
Soil water regimes	pF 2		3.26	3.91	3.03	3.80	4.95	5.61
		pF 3	2.97	3.43	2.85	3.46	4.13	4.90

1) As for insufficient and sufficient amount of K₂SO₄, refer to Table 21.

Table 23. Effects of Na and K supply on K+Na concentration of radish leaves (me per 100g of dry matter).

Na ₂ SO ₄ g/pot	The youngest unfolded leaves			The largest leaves		
	0	3	K means	0	3	K means
0	82.4	105.7	94.0	72.1	92.1	82.1
0.5	98.7	106.5	102.6	89.2	100.7	94.9
1	108.3	111.2	109.8	100.9	104.6	102.8
K ₂ SO ₄ g/pot	2	115.4	117.5	116.4	109.6	115.1
	4	124.4	122.0	123.2	128.5	120.2
	8	134.0	131.0	132.5	137.4	128.8
Na means	110.5	115.7		106.3	110.3	
Significance Na		*			**	
Significance K		**			**	
Significance Na×K		**			**	
L. S. D. 5% Na within K		7.0			9.3	
L. S. D. 5% K within Na		10.4			13.8	

外の要因によっても変化することがあると思われる。また、このことから考えると、体内カリ濃度によってカリ施用量の過不足を推定しようとする場合に採取する部位としては、最も若い展開葉や根に比べ、最大葉の方が適していると言えよう。

次に、ナトリウムを施用すると、最大葉カリ濃度が3.2%以下になっても、生育の低下が認められない場合があった。ナトリウムを施用すると、限界カリ濃度が低下することは、Hyltonら(8)もイタリアンライグラスで、また、Smith(17)もローズグラスで確かめている。ところで、ナトリウム要因の実験で葉中カリ濃度とナト

リウム濃度の和を求めてみると(第23表)、興味深いことに、ナトリウムの施用に関係なく、最大葉で95 me前後の値を境にして、カリ施用量が不十分と思われる区とそうでない区とが区分される。カリ施肥の効果と葉中カリ濃度及びナトリウム濃度との関連については別に検討を加える予定である。

摘 要

置換性カリ含量 91 ppm の土壌を用いて、カリ施用量とともに、窒素、リン酸、石灰、マグネシウム、ナトリウム、光、土壌水分要因のうちの1要因の水準を変えて、1/2,000 a ワグナーポットでハツカダイコンを栽培

し、これら7要因が、カリ施肥に対する生育反応と体内カリ濃度との関係にどのような影響を及ぼすのかを明らかにしようとした。

1. カリ施用量が不十分なために生育が低下し始める区(硫酸カリ 4g 区及び 8g 区のどちらと比べても、地上部重あるいは根重に差が認められる区)は、窒素、リン酸、ナトリウム、光要因の水準の違いによって、硫酸カリ 0.5g 区と 2g 区の間を変動した。これらの4要因の中では、窒素要因の水準の違いによる変動が顕著であった。

2. カリ施用量が不十分なために生育が低下した区とそうでない区とは、ナトリウムを施用した場合を除けば、最大葉で、乾物当たり 3.2% 前後のカリ濃度によって区分される。しかしながら、最も若い展開葉及び根のカリ濃度では、上述の2区を区分できない場合があった。

3. ナトリウムを施用した場合には、最大葉カリ濃度が 3.2% 以下に低下しても、生育低下が認められない場合があった。

4. 以上の結果から、最大葉における限界カリ濃度は、ナトリウムを施用した場合を除けば、ほぼ一定の値(3.2%) になると思われる。

引用文献

1. BATES, T. E. 1971. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: A review. *Soil Sci.* 112: 116-130.
2. BOULD, C. 1964. Leaf analysis in relation to raspberry nutrition. In *Plant analysis and fertilizer problems*. IV. BOULD, C. et al. (ed.) Amer. Soc. Hort. Sci., East Lansing, Mich. pp. 54-67.
3. CAROLUS, R. L. 1949. Calcium and potassium relationships in tomatoes and spinach. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 54: 281-285.
4. GRANT Lipp, A. E. and D. W. GOODALL. 1958. Nutrient interactions and deficiency diagnosis in the lettuce. V. Potassium content and response to potassium. *Aust. J. Biol. Sci.* 11: 471-484.
5. GUSTEIN, Y. 1968. The relationships between yield components of sugar beet and the content of nutrient elements in the petiole at two stages of growth. *Qual. Plant. Mater. Veg.* 17: 31-44.
6. HALEVY, J. and E. KLATER. 1970. Nitrogen-potassium relationships in cotton growing. I. Response of two cotton varieties to potassium application. *Agrochimica.* 14: 533-538.
7. HALEVY, J. and E. KLATER. 1970. Nitrogen-potassium relationships in cotton growing. II.

- A nitrogen-potassium fertilizer experiment with the Acala 1517 C variety. *Qual. Plant. Mater. Veg.* 19: 375-383.
8. HYLTON, L. O., A. ULRICH, and D. R. CORNELIUS. 1967. Potassium and sodium interrelations in growth and mineral content of Italian ryegrass. *Agron. J.* 59: 311-314.
9. LARSON, W. E. and W. H. PIERRE. 1953. Interaction of sodium and potassium on yield and cation composition of selected crops. *Soil Sci.* 76: 51-64.
10. LUNDEGÅRDH, H. 1951. (English translation by R. L. MITCHELL) Leaf analysis. Hilger & Watts Ltd., London. 176pp.
11. MACKAY, D. C. and C. A. EAVES. 1962. The influence of irrigation treatments on yield and on fertilizer utilization by sweet corn and snap beans. *Can. J. Plant Sci.* 42: 219-228.
12. MACKAY, D. C. and J. S. LEEFE. 1962. Optimum leaf levels of nitrogen, phosphorus and potassium in sweet corn and snap beans. *Can. J. Plant Sci.* 42: 238-246.
13. MACLEOD, L. B. 1965. Effect of nitrogen and potassium on the yield and chemical composition of alfalfa, bromegrass, orchardgrass, and timothy grown as pure species. *Agron. J.* 57: 261-266.
14. MACLEOD, L. B., U. C. GUPTA and J. A. CUTCLIFFE. 1971. Effect of N, P, and K on root yield and nutrient levels in the leaves and roots of rutabagas grown in a glasshouse. *Plant and Soil.* 35: 281-288.
15. 奥野忠一・芳賀敏郎. 1969. 実験計画法 pp. 108-119. 培風館. 東京.
16. SCHARRER, K. und W. SCHROOP. 1934. Über die Wirkung des Kaliumions bei mangelnder Lichtversorgung. *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk.* 34: 185-193.
17. SMITH, F. W. 1974. The effect of sodium on potassium nutrition and ionic relations in Rhodes grass. *Aust. J. Agric. Res.* 25: 407-414.
18. 杉山信男・足立 宏. 1979. ハツカダイコンの生育に対するカリ施肥の効果と置換性カリ含量との関係に影響を及ぼす要因. *園学雑.* 48: 31-44.
19. 杉山信男・岩田正利. 1979. ハツカダイコン幼植物の生育に対するカリ施肥の効果と置換性カリ含量との関係に影響を及ぼす要因. *園学雑.* 48: 301-308.
20. 但野利秋・赤城仰哉・秋山喜三郎・宮脇 忠. 1968. 畑作物に対する加里の施用効果に関する研究. 第1報. てん菜の生育, 収量および糖含有率におよぼす窒素と加里施用の効果. *北海道農試集報.* 17: 87-99.
21. ULRICH, A. 1952. Physiological basis for

- assessing the nutritional requirements of plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 3 : 207-228.
22. WALKER, W.M. and J. PESEK. 1967. Yield of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis*) as a function of its percentage of nitrogen, phosphorus, and potassium. *Agron. J.* 59 : 44-47.
23. YORK, E. T., Jr., R. BRADFIELD and M. PEECH. 1953. Calcium-potassium interactions in soils and plants. II. Reciprocal relationships between calcium and potassium in plants. *Soil Sci.* 76 : 481-491.