

塩化カリウムと硫酸カリウムの違いが移植テンサイの 生育・収量・品質・養分吸収に及ぼす影響^{*1}

笛木 伸彦^{*2} 中村 隆一^{*3} 竹内 晴信^{*4} 渡部 敢^{*5}

塩化カリウム（塩加）と硫酸カリウム（硫加）の違いが移植テンサイの生育・収量・品質・養分吸収（カリウムと塩素）に及ぼす影響を、道東地域11筆の圃場に塩加区・硫加区を設けて比較検討した。

生育初～中期（6月下旬～7月中旬）においては、草丈は塩加区が硫加区よりも有意に長かった。茎葉のカリウム含有率は、塩加区が硫加区よりも有意に高かった。塩素含有率は茎葉・葉根ともに塩加区で有意に高かった。

収穫期（9月下旬～10月中旬）においては、塩素含有量およびカリウム含有量は、明らかに塩加区が硫加区に勝った。葉重は塩加区で有意に高まったが、根重や根中糖分・糖量・修正糖分・修正糖量に有意差はなかった。

以上のことから、テンサイに塩加を施用した場合、草丈やカリウムおよび塩素含有率が高まるが、生育や収量には問題なく使用できることが示された。

緒 言

肥料価格は2008年に急激に高騰し、その結果肥料コストの削減は生産現場の喫緊の課題となっている。特に比較的高価で価格変動の影響を受けやすいのが硫酸カリウム（以下、硫加と略記）などの硫酸系肥料であるが、これに対し塩化カリウム（以下、塩加と略記）などの塩素系肥料は将来的にも円滑に原料が確保できると見通されていることから、肥料原料を硫加から塩加へ置き換えるべき事態が生じつつある。

ところが、畑作物に対する塩加の施用効果は硫加に比べて劣る場合があることが、過去の試験結果から明らか

にされている（北農試・道立農試上川支場, 1959）。これによれば、豆類（菜豆・大豆）に塩加を用いると硫加に対し10～11%の減収となる。バレイショでは硫加に対する塩加の減収程度は3～6%と軽度であるが、デンブン価が約1ポイント低下する。

これに対し、テンサイでは硫加に対する塩加の減収程度は2～6%とその減収程度は軽度で、根中糖分についても差はなかったとされている（北農試・道立農試上川支場, 1959）。また西宗・藤田（1975）は、テンサイの場合は硫加と塩加の効果は同等であると報告している。このように、テンサイに対してならば、塩加は有効に使用できる見込みがあるものの、実際に生産現場への普及に移すには、硫加から塩加へと移行した場合に生じる影響の詳細を多数の試験事例に基づいて明らかにしなければならない。特に、塩加と硫加の違いがテンサイ葉根の品質（有害性非糖分等）や養分吸収（カリウム・塩素）に及ぼす影響については知見が不足している。

以上の背景から、本試験では塩加と硫加の違いが移植テンサイの生育・収量・品質・養分吸収（カリウムと塩素）に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2014年6月9日受理

^{*1} 本研究はホクレン農業協同組合連合会からの受託研究として実施した。また本報告の一部は日本土壤肥料学会北海道大会（2010年）において発表した。

^{*2} （地独）北海道立総合研究機構十勝農業試験場（現：北海道農政部, 060-8588 札幌市中央区）
E-mail: fueki-nobuhiko@hro.or.jp

^{*3} 同北見農業試験場（現：同中央農業試験場岩見沢試験地, 069-0365 岩見沢市上幌向町）

^{*4} 同十勝農業試験場（現：同中央農業試験場, 069-1395 夕張郡長沼町）

^{*5} 同上（現：同畜産試験場（081-0038 上川郡新得町）

試験方法

1) 供試圃場

圃場試験は2009年、道東の十勝地域と網走地域の農家圃場9筆と農業試験場の圃場2筆(十勝農試と北見農試)の計11筆において実施した。供試圃場の具体的市町村名と土壌型・施肥量は表1に示した。窒素・リン酸・カリの施肥量は基本的に農家慣行に準じ、塩加区・硫加区の三要素施肥量は各試験地で同一とした。なお表1に示すように、塩加区には塩加由来のClが100～163 kgCl ha⁻¹施用された。

テンサイの栽培概要は表2に示した。なお試験区は、十勝地域ではロータリー整地直後に専用プランタを用いて混合・調整済みの供試肥料を試験区該当箇所に機械施肥(作条施肥)し、その後全自動移植機でテンサイ苗を定植した。十勝農試では定植作業を人力(手植え)で行った。網走地域では、ロータリー整地後の溝切り・施肥(作条施肥)・定植作業はすべて人力で行った。以上のように十勝地域の試験はできる限り機械作業で行ったため、各試験区の1区面積は140～180m²で一連制としたが(調

査は3反復)、網走地域では手作業を主としたため、各試験区を1区面積16～25m²の3反復とした。

供試圃場の土壌化学性は表3に示した。土壌化学性は各圃場のテンサイ作付け前(4月)に採取した土壌試料(2mmの篩いを通した風乾砕土)の分析結果である。pH(H₂O)はガラス電極法(土:水=1:2.5)、T-Cはチューリン法、T-Nはケルダール法、CECはショーレンベルガー法、交換性塩基は酢酸アンモニウム抽出法、熱水抽出性窒素(AC-N)はオートクレーブ法、Truog-P₂O₅はトルオーグ法、によって行った。これらの分析法はすべてURL上に公開されており、PDFファイルがダウンロード可能である(北海道立総合研究機構農業研究本部, 2012)

2) 調査方法

生育初～中期(6月26日～7月14日)に、草丈・葉数・養分含有率(K₂OおよびCl)を調査した。草丈・葉数は常法(農林水産省北海道農業試験場ら, 1986)に従って調査した。養分含有率は、両区から5株を3反復抜き取り、茎葉と菜根に分けて乾燥(70℃, 3日以上)させ

表1 各試験地の土壌型と施肥量

地域	試験地	土壌型	施肥量 (kg ha ⁻¹)			Cl施用量 (kg ha ⁻¹)	
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	塩加区	硫加区
十勝	士幌町	多湿黒ボク土	171	257	171	128	0
	清水町	〃	134	200	134	100	0
	芽室町(現地)	黒ボク土	139	209	139	104	0
	芽室町(十勝農試)	黒ボク土	217	325	217	163	0
	更別村	褐色森林土	167	251	167	125	0
	大樹町	多湿黒ボク土	202	304	202	152	0
	豊頃町	褐色低地土	148	222	148	111	0
網走	網走市	褐色森林土	160	240	160	120	0
	佐呂間町	灰色台地土	160	240	160	120	0
	斜里町	黒ボク土	160	240	160	120	0
	訓子府町(北見農試)	多湿黒ボク土	160	240	160	120	0

表2 テンサイの栽培概要

地域	試験地(市町村)	供試品種	施肥日	定植日	畦幅(cm)	栽植密度(本 ha ⁻¹)	その他の共通事項
十勝	士幌町	スタウト	5月1日	5月1日	66	63862	1区面積: 140～180m ² 機械施肥・機械移植 (十勝農試のみ手植)
	清水町	アセンド	4月20日	5月1日	66	57465	
	芽室町(現地)	かちまる	4月20日	5月4日	66	80249	
	芽室町(十勝農試)	かちまる	4月30日	4月30日	60	68439	
	更別村	かちまる	5月1日	5月2日	66	66302	
	大樹町	フルーデン	5月7日	5月8日	66	84516	
	豊頃町	クローナ	5月5日	5月5日	66	62305	
網走	網走市	アセンド	5月8日	5月8日	60	72460	1区面積16～25m ² ×3反復 手施肥・手移植
	佐呂間町	リッカ	5月11日	5月11日	60	72460	
	斜里町	アセンド	5月7日	5月7日	60	72460	
	訓子府町(北見農試)	レミエル	5月12日	5月12日	60	72460	

表3 供試圃場の化学性

地域	試験地（市町村）	pH	T-C (gkg ⁻¹)	T-N (gkg ⁻¹)	CEC (mmolckg ⁻¹)	交換性塩基 (mgkg ⁻¹)			AC-N (mgkg ⁻¹)	Truog-P ₂ O ₅ (mgkg ⁻¹)
						CaO	MgO	K ₂ O		
十勝	士幌町	5.6	74	6.0	358	3722	358	366	173	262
	清水町	6.0	43	4.7	278	2563	332	390	76	70
	芽室町（現地）	5.9	18	2.2	184	1293	305	578	47	83
	芽室町（十勝農試）	5.7	12	2.5	174	1220	226	357	50	114
	更別村	5.8	24	2.9	183	1349	212	501	75	283
	大樹町	5.7	45	4.5	252	1657	212	419	84	155
	豊頃町	6.0	11	2.0	233	3940	763	424	56	340
網走	網走市	5.5	12	1.8	119	560	108	501	25	332
	佐呂間町	6.8	15	2.0	259	2422	270	651	40	694
	斜里町	5.9	48	4.3	365	1808	282	609	41	389
	訓子府町（北見農試）	6.3	36	3.3	286	4841	318	737	99	293

注) AC-Nは熱水抽出性窒素量、Truog-P₂O₅はトルオーグ法による有効態リン酸量を指す。

たのち、乾物を粉碎調整して作物体の分析試料とし、後述のK₂OおよびClの分析に供した。

収穫時（9月30日～10月20日）には、根重・葉重・根中糖分・糖量・有害性非糖分（N, K₂O, Na₂O）、修正糖分、修正糖量、養分含有量（K₂OおよびCl）そして跡地土壌の交換性K₂O、を調査した。根重は、試験区が一連制の場合は両区から3反復、試験区が3反復ある場合は1区から、それぞれ4～6 m²分のテンサイを抜き取り、タッピングナイフで茎葉と根部を分割したのち根重を測定して求めた。このとき同時に葉重も測定した。根中糖分と有害性非糖分（N, K₂O, Na₂O）、そして修正糖分は農林水産省北海道農業試験場ら（1986）に準拠して測定した。糖量（および修正糖量）は根重と根中糖分（修正糖分）の積により算出した。同時に、根部、葉部はそれぞれの乾物重を測定後、粉碎調整した一部を作物体の分析試料とし、K₂OおよびClの分析に供した。

作物体の乾物試料のK₂Oは、硫酸－過酸化水素分解法にて試料液を作成し、原子吸光法にて定量した（北海道立総合研究機構 農業研究本部, 2012）。作物体の乾物試料のClは、水抽出法（乾燥粉末試料1g：水50mLで1時間振とう後濾過）を用い、チオシアン酸水銀（Ⅱ）法（日本分析化学会北海道支部, 1995）で定量した。

跡地土壌の交換性K₂Oは、上記調査後の各区から作土（0-20cm）を採取し、乾燥・粉碎し2 mmの篩いを通して調整した土壌試料について、前述と同様に分析した（北海道立総合研究機構 農業研究本部, 2012）。

結 果

カリ肥料の違い（塩加・硫加）がテンサイの生育と養分含有率に及ぼす影響を表4に示した。草丈については塩加区が硫加区よりも有意に長かったが、葉数には差がなかった。K₂O含有率は、茎葉では塩加区が硫加区より

も有意に高かったが、葉根では差がなかった。Cl含有率は茎葉・葉根ともに塩加区で有意に高まった。

収量と品質に及ぼす影響（表5）については、葉重および葉根中の有害性非糖分のK₂Oは塩加区で有意に高まったが、根重や根中糖分・糖量等、その他の項目に有意差は見られなかった。

カリ肥料の違いが収穫時テンサイの養分含有量および試験跡地土壌の交換性K₂Oに及ぼす影響は表6に示した。Cl含有量は、茎葉・葉根・合計とも明らかに塩加区が硫加区に有意に勝った。K₂O含有量は、茎葉と合計については塩加区が硫加区に有意に勝ったが、葉根については差がなかった。跡地土壌の交換性K₂Oは、塩加区が硫加区よりも有意に低かった。

考 察

本研究の結果から、テンサイに塩加を施用した場合、硫加と比較して草丈やK₂OおよびClの含有率・含有量が高まり、有害性非糖分のK₂Oも高まるが、修正糖分や修正糖量に悪影響はなく、生育や収量にも全く問題がないことが、多数の現地試験によって示された。

塩加と硫加を比較した場合、塩加施用では移植テンサイの生育や葉重、作物体内K₂OおよびCl含有率が高まることは西宗・藤田（1975）も報告しており、本研究の結果と一致した。この機作の一部は、塩素イオンの存在がカリの吸収を高めるためと考えられている。

過去の研究（北農試・道立農試上川支場, 1959）において塩加は硫加に比べ減収をもたらすとされていたのは、移植栽培が開発された1962年（笛木, 2008）以前に行われた、直播栽培での試験結果であったことが大きな原因と考えられる。塩加は塩化物イオンの影響により濃度障害を起こしやすく（笛木ら, 2011）、1950年代当

表4 カリ肥料の違いがテンサイの生育と養分含有率に及ぼす影響

地域	試験地 (市町村)	草丈 (cm)		葉数 (枚)		K ₂ O含有率 (g kg ⁻¹)				Cl含有率 (g kg ⁻¹)			
						茎葉		菜根		茎葉		菜根	
		塩加	硫加	塩加	硫加	塩加	硫加	塩加	硫加	塩加	硫加	塩加	硫加
十勝	士幌町	39.5	37.1	16.4	16.6	61	57	21	23	15	12	1.8	1.2
	清水町	38.6	36.8	15.8	15.2	72	65	28	28	24	12	3.9	2.0
	芽室町 (現地)	39.4	38.8	12.1	14.3	67	54	23	23	19	8	1.9	1.7
	芽室町 (十勝農試)	49.3	49.6	16.3	17.0	62	54	25	22	25	8	3.3	1.2
	更別村	33.5	31.4	13.8	14.7	64	65	24	23	23	7	2.8	1.0
	大樹町	31.4	30.8	15.2	14.4	63	49	21	17	23	7	1.6	0.8
	豊頃町	34.1	32.3	14.7	14.4	62	60	22	21	21	7	2.5	1.1
網走	網走市	37.3	34.1	16.6	16.2								
	佐呂間町	37.1	37.4	15.9	15.9								
	斜里町	43.4	39.9	17.8	16.2								
	訓子府町 (北見農試)	49.0	44.2	21.0	22.3								
	平均	39.3	37.5	16.0	16.1	64	58	23	23	21	9	2.5	1.3
	有意差	*	-	*	-	*	*						

注1) *は両区間に5%水準で有意差 (対応のあるt検定) があることを示す。

注2) 調査・試料採取日: 6/26 (士幌・清水・芽室2カ所), 6/29 (更別・大樹・豊頃), 7/3 (斜里), 7/8 (網走), 7/9 (佐呂間), 7/14 (訓子府)

表5 カリ肥料の違いがテンサイの収量と品質に及ぼす影響

地域	試験地（市町村）	根重 (Mgha ⁻¹) ^a		葉重 (Mgha ⁻¹)		根中糖分 (gkg ⁻¹)		糖量 (Mgha ⁻¹)		有害性非糖分（mgkg ⁻¹ ）						修正糖分 (gkg ⁻¹)		修正糖量 (Mgha ⁻¹)	
										N		K ₂ O		Na ₂ O					
		塩加	硫加	塩加	硫加	塩加	硫加	塩加	硫加	塩加	硫加	塩加	硫加	塩加	硫加	塩加	硫加	塩加	硫加
十勝	士幌町	53	51	67	63	170	171	9.0	8.8	154	150	2282	1962	98	96	148	152	7.8	7.8
	清水町	59	56	60	65	166	162	9.8	9.1	172	220	2474	2678	103	166	143	136	8.4	7.7
	芽室町（現地）	59	53	70	63	180	182	10.5	9.6	138	122	2060	1805	74	74	160	165	9.4	8.7
	芽室町（十勝農試）	62	64	75	64	176	171	10.9	10.9	225	243	1987	1723	96	108	156	153	9.7	9.8
	更別村	52	61	100	84	157	159	8.2	9.7	159	153	2149	2156	129	149	136	137	7.1	8.4
	大樹町	53	55	103	87	163	165	8.6	9.2	157	163	1697	1486	127	109	145	149	7.6	8.3
	豊頃町	53	54	68	64	161	160	8.5	8.6	116	108	1958	1698	140	152	142	142	7.5	7.7
網走	網走市	46	45	33	31	168	159	7.7	7.2	623	554	273	264	329	319	156	147	7.1	6.7
	佐呂間町	48	48	40	43	195	192	9.4	9.2	234	238	1813	1752	102	115	176	173	8.5	8.4
	斜里町	61	64	68	61	167	162	10.1	10.3	881	900	471	546	477	530	150	143	9.0	9.1
	訓子府町（北見農試）	59	58	41	37	198	195	11.6	11.3	297	343	1908	1846	56	59	179	176	10.5	10.2
	平 均	55	55	66	60	173	171	9.5	9.5	287	290	1734	1629	157	171	154	152	8.4	8.4
	有意差	-	*	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

注1) *は両区間に5%水準で有意差 (対応のあるt検定) があることを示す。

注2) 調査・試料採取日: 6/26 (士幌・清水・芽室2カ所), 6/29 (更別・大樹・豊頃), 7/3 (斜里), 7/8 (網走), 7/9 (佐呂間), 7/14 (訓子府)

時は施肥位置等の研究が進んでいなかったことから、直播栽培のテンサイは塩加による濃度障害によって発芽や収量にダメージがあったものと考えられる。

ところが、テンサイをほぼ100%直播栽培しているヨーロッパでは、ほとんどの場合テンサイに塩加が使用されている。その際濃度障害を回避するために、播種直前や種子近傍への塩加施用は避け、施用は播種の最低2週間前までに行うことや、作土と十分に混和して肥料濃度を下げる事 (全層施肥) などが推奨されている (Department for Environment Food and Rural

Affairs U.K., 2010)。我が国 (北海道) においてもこのような配慮を行えば、直播テンサイにおいても塩加が問題なく使用できる可能性はある。

いずれにせよ、移植栽培の場合には、紙筒によって苗が濃度障害から保護されているので、塩加による濃度障害の問題はほとんどないものと考えられる。

収穫跡地土壌の交換性K₂Oが塩加区で有意に低かったのは、塩加区でのカリ収奪量 (カリ含有量の合計) が有意に大きかったことと符合する。このことが、塩加使用の継続が直ちにカリ肥沃度を低下させる心配を生むと

表6 カリ肥料の違いがテンサイの養分含有量と試験跡地土壌の化学性に及ぼす影響

地域	試験地（市町村）	Cl含有量（kg ha ⁻¹ ）						K ₂ O含有量（kg ha ⁻¹ ）						跡地土壌の交換性	
		茎葉		菜根		合計		茎葉		菜根		合計		K ₂ O (mg kg ⁻¹)	
		塩加	硫加	塩加	硫加	塩加	硫加	塩加	硫加	塩加	硫加	塩加	硫加	塩加	硫加
十勝	士幌町	80	37	5.4	4.4	85	41	447	406	96	86	543	492	384	501
	清水町	160	102	8.7	6.5	169	109	439	453	126	136	565	589	302	400
	芽室町(現地)	201	139	6.5	3.9	208	143	445	385	109	79	554	464	344	403
	芽室町(十勝農試)	215	40	4.7	2.7	220	43	460	353	103	90	563	443	241	268
	更別村	160	89	3.1	2.9	163	92	503	476	85	104	588	580	395	385
	大樹町	172	93	2.4	2.6	175	96	530	465	66	68	597	534	276	302
	豊頃町	61	18	3.0	2.1	64	20	307	270	86	75	393	345	336	357
	平均	150	74	4.8	3.6	155	78	447	401	96	91	543	492	325	374
	有意差	*		*		*		*		-		*		*	

注1) *は両区間に5%水準で有意差(対応のあるt検定)があることを示す。

注2) 試料採取日: 10/7(士幌・清水・芽室2カ所), 10/9(更別・大樹・豊頃)

は考えにくいですが、塩加導入後はこれまで以上にカリ肥沃度の経過に着目すべきと考えられる。

以上のように、本研究の結果から、テンサイに塩加を施用した場合、草丈やK₂OおよびCl含有率が高まるが、生育や収量に問題はなく使用できることが示された。ただし、塩加導入によってテンサイの茎葉はカリとともに多量のClを吸収・含有し、収穫後にその茎葉は圃場に還元されることから、今後後作物への影響について検討しなくてはならない。

謝 辞 本研究のとりまとめに当たり、北海道立総合研究機構 中央農業試験場農業環境部の加藤淳部長にご校閲いただいた。また十勝農業改良普及センター・網走農業改良普及センター・北海道糖業株式会社の各位、そして生産者の各位には試験・調査に多大な御協力と御支援を頂いた。以上の各位に記して深く謝意を表します。

引用文献

- Department for Environment Food and Rural Affairs
U.K. 2010. Fertiliser Manual. p.103-132.
- 笛木伸彦 2008. テンサイの安定生産に向けた肥培管理法に関する研究. 道立農試報告, 120, 1-12.
- 笛木伸彦・村岡知彦・古賀伸久 2011. ヨーロッパにおける肥料の流通と合理化. 北農, 78 (2), 222-230.
- 北海道立総合研究機構 農業研究本部 2012. 土壌・作物栄養診断のための分析法2012. <http://www.agri.hro.or.jp/center/bunseki2012/index.html>
- 北農試・道立農試上川支場 1959. 塩化加里の施用が作物の生育、収量並びに土壌の化学性に及ぼす影響について. 指導上の参考事項. <http://www.agri.pref.hokkaido.jp/center/kenkyuseika/gaiyosho/s34gaiyo/1958024.html>

日本分析化学会北海道支部 1995. 水の分析. p.151-156. 化学同人, 京都.

西宗 昭・藤田 勇 1975. 十勝火山灰土壌における紙筒移植栽培てん菜の生育・収量に及ぼす塩化物肥料の影響. 北農試研究報告, 111, 37-78.

農林水産省北海道農業試験場・北海道立農業試験場・財団法人甘味資源振興会 1986. てんさいに関する調査基準および用語集. p.1-96. 興亜堂, 札幌.

Effect of potassium fertilizer type on growth, yield, quality and nutrient uptake of sugar beet cultivated by paper-pot transplanting: comparison between potassium chloride and potassium sulfate

Nobuhiko Fueki^{*1}, Ryuuichi Nakamura^{*2}, Harunobu Takeuchi^{*3}
and Kan Watanobe^{*4}

Summery

To clarify the effect of potassium fertilizer type on growth, yield, quality and nutrient (potassium and chloride) uptake of sugar beet cultivated by paper-pot transplanting, we did comparison between potassium chloride plot and potassium sulfate plot, in eleven farmers' fields in eastern area of Hokkaido.

At early - middle stage of growth (from late June to middle of July), leaf length was significantly longer in potassium chloride plot than in potassium sulfate plot. Potassium content in leaf was significantly higher in potassium chloride plot than in potassium sulfate plot. Chloride content in leaf and root was significantly higher in potassium chloride plot than in potassium sulfate plot.

At harvest time (from late September to late October), nutrient uptake of potassium and chloride was clearly larger in potassium chloride plot than in potassium sulfate plot. Although leaf weight was significantly higher in potassium chloride plot than in potassium sulfate plot, there was no significant difference of root weight, sugar content and sugar yield, between the two plots.

These results suggested that potassium chloride could be used for sugar beet without any disorder on growth and yield, even though application of potassium chloride tends to increase leaf length, potassium and chloride content, of sugar beet.

^{*1} Hokkaido Research Organization Tokachi Agricultural Experiment Station (Present; Department of Agriculture, Hokkaido Government, Sapporo, Hokkaido, 060-8588)

E-mail: fueki-nobuhiko@hro.or.jp

^{*2} Hokkaido Research Organization Kitami Agricultural Experiment Station (Present; Hokkaido Research Organization Central Agricultural Experiment Station, Iwamizawa, Hokkaido, 069-0365)

^{*3} Hokkaido Research Organization Tokachi Agricultural Experiment Station (Present; Hokkaido Research Organization Central Agricultural Experiment Station, Naganuma, Hokkaido, 069-1395)

^{*4} ditto. (Present; Hokkaido Research Organization Animal Research Center, Shintoku, Hokkaido, 081-0038)