

バレイショのマクロチューバーを種イモとする圃場栽培における収量形質の品種間差異の作用機作

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者	津田, 昌吾 森, 元幸 小林, 晃 高田, 明子
巻/号	80巻2号
掲載ページ	p. 165-173
発行年月	2011年4月

バレイショのマイクロチューバーを種イモとする圃場栽培における収量形質の品種間差異の作用機作

津田昌吾・森元幸・小林晃・高田明子

(北海道農業研究センター)

要旨：バレイショ採種での低増殖率を解決する一つの手段として、器内培養で大量に増殖したマイクロチューバーを種イモにする栽培 (MT 栽培) が検討されている。これまで、MT 栽培では収量形質に大きな品種間差異が生じることが認められているが、その作用機作や年次安定性は明らかになっていない。そこで、本研究では、MT 栽培特性の異なる 4 品種を用いて MT 栽培および慣行の種イモを用いる栽培 (CT 栽培) を 5 カ年行い、生育・収量を比較した。各年次とも、塊茎数の CT 栽培に対する MT 栽培の割合 (MT/CT 比) と平均塊茎一個重の MT/CT 比の間には有意な負の相関関係が認められ、CT 栽培と比べ MT 栽培で一個重の低下は小さいが塊茎数が大きく減少する品種 (個重型) と、塊茎数の減少は小さいが一個重が大きく低下する品種 (個数型) に分かれた。この理由を解析したところ、CT 栽培で各品種とも塊茎肥大初期に塊茎数が決定しているのに対して、MT 栽培では CT 栽培に比べて塊茎数の決定時期が遅れ、その後の塊茎数増加割合に有意な品種間差異が認められた。この塊茎数増加割合が大きい品種ほど塊茎数の MT/CT 比が大きくなり、MT 栽培で個数型になった。また、塊茎数増加割合と塊茎肥大初期の塊茎生重の間に有意な負の相関関係が認められ、塊茎数決定時期 (塊茎形成の終了時期) の早晩に塊茎肥大初期における塊茎肥大量が関与することが示唆された。本研究で明らかになった品種特性を利用することにより、従来よりも増殖率の高い MT 栽培を確立できる可能性がある。

キーワード：塊茎一個重、塊茎数、塊茎生重、個重型、個数型、バレイショ、品種間差異、マイクロチューバー。

バレイショ (*Solanum tuberosum* L.) は栄養繁殖性作物であるため、種イモの増殖率が低いことや種イモを介して伝染するウイルス病等の防除が必要となることが問題になる。そこで、近年、無菌室内での器内培養により大量に増殖したウイルスフリーの小粒塊茎 (マイクロチューバー、以下 MT) を利用して、種イモの増殖率を向上させることが図られている (Wang and Hu 1982, 秋田 1996, Donnelly ら 2003)。

これまでの研究において、MT を種イモとする栽培 (MT 栽培) では慣行の種イモ (CT) を用いる栽培 (CT 栽培) と比べて、収量形質において種イモ処理の違いによる有意な品種間差異は報告されていなかった (Haverkort ら 1991)。しかし、著者らは前報 (津田ら 2010) において多数の品種・系統を用いることによって、MT 栽培では CT 栽培と比べて、収量形質により大きな品種間差異が生じ、より個数型になる品種群と、より個重型になる品種群に分かれることを明らかにした。しかし、この MT 栽培の品種特性に関わる作用機作および年次安定性については不明であった。

本研究では、MT 栽培の品種特性の異なる 4 品種を 5 カ年、それぞれ MT 栽培および CT 栽培を行い、MT 栽培時にみられる品種特性に関わる作用機作を検討した。

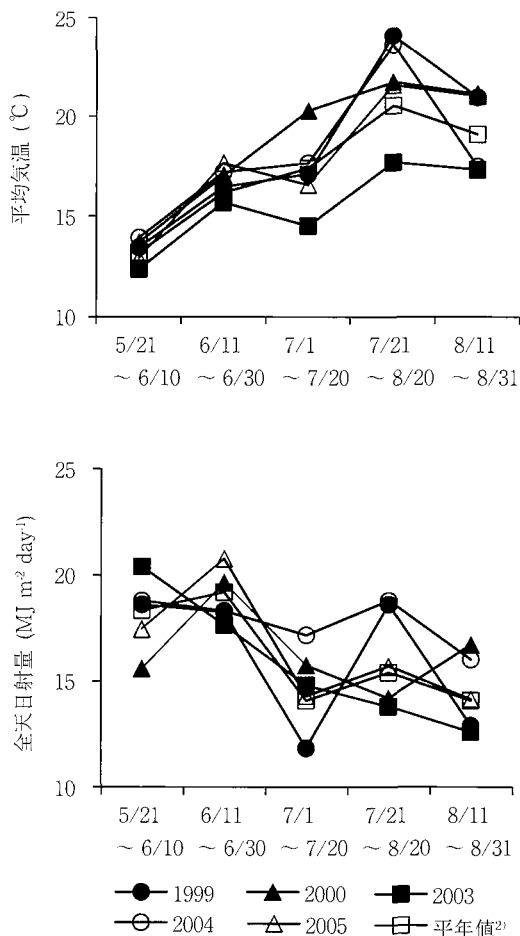
材料と方法

1. 供試品種および種イモの種類

前報 (津田ら 2010) において異なる MT 栽培の品種特性を示した早生品種の男爵薯およびキタアカリと、晩生品種の農林 1 号およびニシユタカの 4 品種を供試した。MT 栽培では植え付けの 7~9 ヶ月前に器内培養により収穫された生重 0.5~1.0 g の MT (キリンホールディングス株式会社フロンティア技術研究所製) を種イモとして用いた。また、CT 栽培では、前年に収穫した生重 100 g 程度の CT を二つ切りにして種イモとして用いた。両種イモとも、植え付け前に 2 週間、浴光育苗を行った。

2. 試験方法

1999~2000 年と 2003~2005 年の 5 カ年、北海道農業研究センター芽室研究拠点の圃場 (乾性火山灰土壌) において試験を行った。各年とも、畦間 75 cm、株間 30 cm、1 区 2 畦 24 株 (5.4 m²) の 2 反復で、主試験区を種イモ処理、副試験区を品種とする分割試験区法で、5 月 7~12 日に植え付けた。また、これとは別に早掘り試験区として、1 区 2 畦 12 株 (2.7 m²) の 2 反復で植え付けた。肥料は 10 a 当たり窒素、リン酸、カリをそれぞれ 6.0、17.0、10.2 kg ずつ、植え付け時に種イモの下に条施した。なお、MT および CT とも、種イモ上面が地表下 5 cm 付近になるように植え付けた。その後、各年において 6 月 21~23 日に



第1図 各年次における旬別平均気温と全日放射量の推移¹⁾

¹⁾ 5月21日～8月31日までの2旬ごとの平均値。

²⁾ 1999～2005年の7カ年の平均値。

培土を行った。

調査は、早掘り試験区については7月13～16日（塊茎肥大初期）に、各試験区内で、1畦の両端の株を除いた4株を掘り取り、茎葉生重、1g以上の塊茎について塊茎数と平均塊茎一個重（以下、一個重）、塊茎生重および塊茎重比（塊茎生重 / (茎葉生重 + 塊茎生重)）を測定した。さらに、各品種の地上部黄変期を記録した後、全ての品種が黄変した10月5～13日（収穫期）に、各試験区内で、1畦の両端の株を除いた10株を掘り取り、1g以上の塊茎について塊茎数、一個重、塊茎生重および塊茎澱粉価（以下、澱粉価）を測定した。澱粉価は澱粉価測定装置（エコー電機株式会社、LAMM-F33）を用い、塊茎生重の空中重と水中重の比重から算出した。

測定したデータはSAS/STAT (version9.2, SAS Institute Japan 株式会社) を用いて分散分析（混合モデル法：McIntosh 1983）を行った。また、平均気温および全日放射量（以下、日射量）は、当研究センター圃場内に設置された気象観測システムによる。

結 果

1. 各試験年次における気象概要

生育期間中の気象概要を年次別に第1図に示した。1999年は7月上中旬の日射量が少なかったが、7月下旬以降、高温に推移し、日射量も概して多かった。2000年は7～8月にかけて気温が高く推移した。2003年は7～8月に気温が低く推移し、日射量も概して少なかった。2004年は7月上中旬を除いて生育期間を通して高温に推移し、7～8月には日射量も多かった。2005年は7月上中旬の気温がやや低く、日射量もわずかに少なかったが、その他の期間は気温、日射量ともに平年並みに推移した。

2. 塊茎肥大初期におけるMT栽培の生育概要および収量形質の品種間差異

塊茎肥大初期のMT栽培およびCT栽培における調査形質の5カ年の平均値を品種別に第1表に示した。前報（津田ら2010）と同様、MT栽培では、CT栽培に比べ萌芽期は2日程度早かったが、その後の生育は著しく劣り、株当たり茎数が1本程度と少なく、茎葉生重および、塊茎数、一個重、塊茎生重および塊茎重比の値はいずれの形質においても小さかった。また、塊茎形質では、一個重を除いて種イモ処理と品種の間に有意な交互作用が認められ、種イモ処理によって品種の反応が異なることが推察された。

そこで、塊茎肥大初期の塊茎数、一個重、塊茎生重および塊茎重比を年次別に第2表に示した。特に塊茎生重および塊茎重比では、CT栽培に比べMT栽培での品種間の変動係数が概して大きく、品種間差異が大きかった。これらMT栽培の塊茎生重および塊茎重比の値は、供試年次を通して男爵薯および農林1号で小さく、キタアカリおよびニシユタカで大きい傾向を示した。なお、塊茎重比では年次、種イモ処理および品種の間に有意な交互作用は認められなかったが、塊茎生重では5%水準で有意な交互作用が認められた（第1表）。しかし、他の有意な交互作用と比べると分散分析の平均平方は小さく、その交互作用は小さいとみなせた。このため、塊茎生重および塊茎重比におけるMT栽培特有の品種間差異は、いずれの年次でもほぼ共通して認められる品種特性であると推察された。

3. 収穫期におけるMT栽培の生育概要および収量形質の品種間差異

収穫期のMT栽培およびCT栽培における調査形質の5カ年の平均値を品種別に第3表に示した。MT栽培では黄変期が1週間程度遅れたが、収穫期の塊茎生重はCT栽培の71～84%であった。また、CT栽培ではいずれの品種においても塊茎肥大初期の塊茎数が収穫期と同程度であったが、MT栽培では収穫期の塊茎数に比べて塊茎肥大初期の塊茎数が56～89%と少なく、塊茎肥大初期から収穫期における塊茎数増加割合（収穫期の塊茎数 / 塊茎肥大初期の塊

第1表 マイクロチューバーを種イモとする栽培 (MT栽培) と慣行の種イモを用いる栽培 (CT栽培) での塊茎肥大初期の茎葉形質および塊茎形質における供試品種の平均値¹⁾, および分散分析の結果.

栽培方法	品種名	萌芽期 ²⁾	塊茎肥大初期 ³⁾						
			茎数 (本/株)	茎葉生重 (g m ⁻²)	塊茎数 (個/株)	平均塊茎 一個重 (g)	塊茎生重 (g m ⁻²)	塊茎重比 ⁴⁾	
MT	男爵薯	20	1.4	1519	6.5	18	511	0.25	
	農林1号	19	1.1	1878	5.2	17	451	0.19	
	キタアカリ	19	1.2	1502	7.2	22	742	0.33	
	ニシユタカ	18	1.2	1603	6.7	23	659	0.29	
	平均	19	1.2	1625	6.4	20	591	0.27	
CT	男爵薯	22	4.7	2057	13.4	29	1803	0.47	
	農林1号	20	4.2	2166	8.8	29	1172	0.35	
	キタアカリ	21	4.4	2116	11.9	35	1883	0.47	
	ニシユタカ	20	4.8	2297	12.1	28	1526	0.40	
	平均	21	4.5	2159	11.5	30	1596	0.42	
分散分析									
要因	自由度		平均平方						
年次 (Y)	4	136 *** ⁵⁾	1.8	2325183 **	86 **	1359 ***	2422032 ***	0.098 ***	
1次誤差	5	2	0.4	77493	4	16	68482	0.003	
種イモ (T)	1	63 ***	223.1 ***	5695326 ***	531 ***	2167 ***	20214271 ***	0.627 ***	
Y×T	4	14 *	2.3 *	209730 *	4 *	648 ***	65005	0.027 **	
2次誤差	5	2	0.4	30616	0	13	31117	0.001	
品種 (V)	3	18 ***	0.8	253451	36 ***	110 *	877315 ***	0.061 ***	
Y×V	12	4 *	1.3 ***	57839	7 **	79 *	68649	0.003	
T×V	3	1	0.2	153843	9 *	63	334216 ***	0.012 ***	
Y×T×V	12	2	1.6 ***	135000	3	32	81891 *	0.003	
3次誤差	30	2	0.3	95140	2	37	37517	0.001	

¹⁾ 1999~2000, 2003~2005年の平均.

²⁾ 植付後日数.

³⁾ 7月13~16日.

⁴⁾ 塊茎生重 / (茎葉生重 + 塊茎生重).

⁵⁾ ***, **, *: 0.1%水準, 1%水準, 5%水準でそれぞれ有意.

茎数; 以下, 塊茎数増加割合) が大きかった. さらに, 塊茎数, 一個重, 澱粉価および塊茎数増加割合においては, 種イモ処理と品種の間に有意な交互作用が認められ, 種イモ処理によって品種の反応が異なることが推察された.

そこで, 各品種のMT栽培およびCT栽培における塊茎数, 一個重, 塊茎生重および塊茎数増加割合と, これら形質のCT栽培に対するMT栽培の比率 (MT/CT比) を年次別に第4表に示した. 2004年と2005年の塊茎数を除いた形質において, 前報 (津田ら2010) と同様, CT栽培に比べMT栽培では品種間の変動係数が大きく, 品種間差異が大きい傾向を示した. また, 試験年次を通して塊茎数のMT/CT比は男爵薯および農林1号で大きく, キタアカリおよびニシユタカで小さかった. 一方, 一個重のMT/CT比は男爵薯および農林1号で小さく, キタアカリおよびニシユタカで大きい傾向を示した.

なお, 塊茎数では年次, 種イモ処理および品種の間に有意な交互作用は認められなかったが, 一個重では5%水準で有意な交互作用が認められた (第3表). しかし, 他の

有意な交互作用と比べると分散分析の平均平方は小さく, その交互作用は小さいとみなせた. また, 塊茎数および一個重のMT/CT比について分散分析を行った結果では, 塊茎数では年次および品種の間に5%水準で有意な交互作用 (自由度12, 平均平方0.03, $P < 0.05$, 以下同じ) が認められたが, 品種間で認められた有意差 (3, 0.20, $P < 0.001$) に比べると小さく, 一個重では有意な交互作用 (12, 0.04, $P > 0.05$) が認められなかった. このため, 総合的に年次とMT栽培特性の交互作用は小さいと考えられ, 塊茎数および一個重におけるMT栽培特有の品種間差異はいずれの年次でもほぼ共通して認められる品種特性であると推察された.

一方, 塊茎生重には種イモ処理と品種の間に有意な交互作用は認められず (第3表), MT栽培の塊茎生重はCT栽培の塊茎生重に比例した ($r = 0.97$, $p < 0.001$, 4品種・5カ年で $n = 20$). その理由として, 塊茎数および一個重のMT/CT比間で認められたほぼ同一直線上に回帰する有意な負の相関関係が影響したと考えられた (第2図). すな

第2表 MT栽培¹⁾およびCT栽培¹⁾での塊茎肥大初期の供試品種における年次別での塊茎形質、および各形質のCT栽培に対するMT栽培の比率(MT/CT比)。

年次	品種名	塊茎数(個/株)			平均塊茎一個重(g)			塊茎生重(g m ⁻²)			塊茎重比 ¹⁾		
		MT	CT	MT/CT比	MT	CT	MT/CT比	MT	CT	MT/CT比	MT	CT	MT/CT比
1999	男爵薯	3.6	10.8	0.34	8	31	0.26	134	1495	0.09	0.09	0.40	0.22
	農林1号	4.0	8.5	0.63	6	27	0.22	102	1008	0.10	0.06	0.32	0.17
	キタアカリ	5.3	11.1	0.89	10	32	0.32	244	1575	0.15	0.13	0.43	0.31
	ニシユタカ	6.5	11.2	0.58	8	23	0.36	241	1165	0.21	0.13	0.34	0.37
	平均値	4.8	10.4	0.47	8	28	0.29	180	1311	0.14	0.10	0.37	0.27
	LSD (p=0.05)	4.1	2.9	0.37	7	9	0.28	260	564	0.22	0.06	0.13	0.23
	C.V. (%)	23.3	10.7	42.7	18.8	12.3	18.7	35.0	17.8	33.9	31.1	11.5	28.8
2000	男爵薯	10.7	20.1	0.53	12	18	0.67	575	2412	0.24	0.25	0.48	0.53
	農林1号	7.2	11.0	0.66	16	15	1.06	514	1088	0.47	0.22	0.29	0.77
	キタアカリ	10.0	11.9	0.84	30	27	1.10	1310	2142	0.61	0.39	0.46	0.84
	ニシユタカ	6.9	16.3	0.42	28	17	1.67	848	1825	0.46	0.36	0.40	0.90
	平均値	8.7	14.8	0.59	22	19	1.12	812	1867	0.43	0.31	0.41	0.75
	LSD (p=0.05)	2.3	2.8	0.24	9	10	0.54	236	760	0.17	0.06	0.06	0.18
	C.V. (%)	19.1	24.6	26.5	35.3	24.0	31.8	38.6	26.5	30.7	23.0	18.2	18.6
2003	男爵薯	3.5	8.9	0.39	13	33	0.41	204	1267	0.16	0.20	0.46	0.45
	農林1号	3.6	6.8	0.53	11	40	0.28	177	1202	0.15	0.13	0.44	0.30
	キタアカリ	4.1	7.3	0.56	23	51	0.45	418	1627	0.26	0.34	0.51	0.65
	ニシユタカ	4.7	7.3	0.64	26	41	0.62	512	1332	0.38	0.32	0.47	0.69
	平均値	3.9	7.6	0.52	18	41	0.44	328	1357	0.24	0.25	0.47	0.53
	LSD (p=0.05)	1.3	3.5	0.33	17	19	0.38	283	384	0.17	0.12	0.11	0.24
	C.V. (%)	11.9	10.3	17.2	33.6	15.9	27.7	43.1	12.0	39.2	34.0	6.0	29.8
2004	男爵薯	6.4	12.7	0.51	42	42	1.00	1186	2364	0.50	0.36	0.57	0.63
	農林1号	6.2	9.7	0.64	48	35	1.38	1341	1501	0.89	0.35	0.41	0.85
	キタアカリ	8.5	14.8	0.57	34	34	0.98	1270	2201	0.58	0.49	0.49	1.00
	ニシユタカ	6.8	13.1	0.51	42	37	1.11	1245	2141	0.58	0.39	0.44	0.89
	平均値	7.0	12.6	0.55	41	37	1.11	1261	2052	0.61	0.40	0.48	0.83
	LSD (p=0.05)	1.3	7.0	0.29	28	19	1.07	868	482	0.36	0.14	0.04	0.27
	C.V. (%)	13.0	14.7	9.6	12.7	8.0	14.7	4.4	16.0	24.5	13.4	12.8	15.9
2005	男爵薯	8.5	14.5	0.59	12	22	0.54	456	1476	0.31	0.22	0.41	0.53
	農林1号	5.0	8.0	0.63	6	30	0.20	120	1060	0.11	0.05	0.31	0.17
	キタアカリ	8.0	14.5	0.55	13	29	0.44	467	1871	0.25	0.22	0.47	0.46
	ニシユタカ	8.8	12.5	0.70	11	22	0.52	448	1167	0.38	0.19	0.34	0.57
	平均値	7.6	12.4	0.61	11	26	0.41	373	1393	0.27	0.17	0.38	0.44
	LSD (p=0.05)	4.4	6.7	0.68	6	15	0.52	275	905	0.27	0.07	0.12	0.24
	C.V. (%)	19.9	21.5	9.0	25.7	14.5	33.2	39.2	22.6	37.1	40.3	16.2	35.7

¹⁾ 第1表を参照。

わち、塊茎数および一個重のMT/CT比は競合的に作用し、一方の増加分を他方が打ち消すため、塊茎生重には有意な交互作用が認められなかったと考えられる。なお、澱粉価においては、前報(津田ら2010)と異なり、種イモ処理と品種の間に比較的大きな交互作用が認められた(第3表)。このことは、本試験で澱粉価のMT/CT比の全年次の平均値は男爵薯で0.92と低かったが、他品種では0.96~1.05と差が大きかったためと考えられた。

4. 調査諸形質間の相関関係

MT栽培およびCT栽培の収穫期における塊茎数と塊茎肥大初期における茎葉および塊茎形質との相関係数を第5表に示した。CT栽培では収穫期における塊茎数と、塊茎肥大初期における茎葉生重および塊茎数との間にそれぞれ有意な正の相関関係が認められた。これに対して、MT栽培ではこれら形質間にいずれも有意な相関関係が認められず、収穫期における塊茎数は、塊茎肥大初期の茎数と塊茎数増加割合と有意な正の相関関係を示した。そこで、MT

第3表 MT栽培¹⁾およびCT栽培¹⁾での収穫期の塊茎形質における供試品種の平均値¹⁾,および分散分析の結果.

栽培方法	品種名	黄変期 ²⁾	収穫期 ³⁾				塊茎数 増加割合 ⁴⁾
			塊茎数 (個/株)	平均塊茎 一個重 (g)	塊茎生重 (g m ⁻²)	澱粉価 (%)	
MT	男爵薯	98	11.6	51	2471	13.7	1.77
	農林1号	118	9.6	97	3908	16.2	1.84
	キタアカリ	103	8.1	88	3137	15.7	1.13
	ニシユタカ	121	9.2	130	4886	14.5	1.37
	平均	110	9.6	92	3601	15.0	1.53
CT	男爵薯	91	11.9	67	3472	14.9	0.92
	農林1号	110	10.6	102	4713	16.8	1.18
	キタアカリ	92	12.9	79	4426	15.0	1.08
	ニシユタカ	117	13.7	100	5842	14.5	1.12
	平均	103	12.3	87	4613	15.3	1.07
分散分析							
要因	自由度			平均平方			
年次 (Y)	4	167	35.6**	3669***	1304520	5.3***	1.50
1次誤差	5	83	1.5	155	261197	0.2	0.44
種イモ (T)	1	1566*** ⁵⁾	141.2***	672*	16372446***	0.9	9.18**
Y×T	4	16*	13.1*	540*	70653	0.8	1.03
2次誤差	5	3	1.2	55	119121	0.4	0.45
品種 (V)	3	3072***	16.2***	12712***	20010206***	31.2***	1.52*
Y×V	12	91***	8.6***	852***	429451**	1.8***	1.16*
T×V	3	85*	24.3***	1722***	150669	5.4***	2.12*
Y×T×V	12	36	4.4*	253***	46850	0.7	0.89
3次誤差	30	20	1.7	60	139120	0.4	0.47

¹⁾ 第1表を参照.²⁾ 萌芽後日数.³⁾ 全品種の地上部が黄変した, 10月5~13日.⁴⁾ 収穫期の塊茎数/塊茎肥大初期の塊茎数.⁵⁾ ***, **, *: 0.1%水準, 1%水準, 5%水準でそれぞれ有意.

栽培の塊茎数増加割合と他の形質との相関関係を検討したところ, 第6表に示すように塊茎肥大初期における塊茎生重と塊茎重比, および収穫期における塊茎数と一個重のMT/CT比との間にいずれも有意な相関関係が認められた.

5. 塊茎肥大初期における茎葉および塊茎形質と気象要因の間の相関関係

塊茎肥大初期における各調査形質と塊茎肥大初期前20日間の平均気温および日射量との相関係数を第7表に示した. MT栽培およびCT栽培のいずれでも, 平均気温と塊茎肥大初期における茎葉生重, 塊茎数および茎当たり塊茎数の間に有意な相関関係が認められた. また, MT栽培およびCT栽培のいずれにおいても, 日射量と塊茎肥大初期における塊茎生重の間に有意な正の相関関係が認められた. しかし, MT栽培では, 日射量と塊茎肥大初期における塊茎重比の間にも有意な相関関係が認められたのに対して, CT栽培では認められなかった.

考 察

1. MT栽培およびCT栽培における塊茎数の決定時期

本試験においても前報(津田ら2010)と同様, 収量形質においてMT栽培で特有の品種間差異が認められた. すなわち, CT栽培に比べMT栽培でより個数型になる品種(男爵薯, 農林1号)と, より個重型になる品種(キタアカリ, ニシユタカ)が存在した. この品種特性における年次との交互作用は小さく(第3表), この特性は年次の気象条件による影響を受けにくい遺伝的に安定した品種固有の特性であると考えられた.

この理由について塊茎数に着目して考えると, CT栽培では生育初期に塊茎形成が止まり, その後, 塊茎数は収穫期まで概ね一定に推移することが知られている(吉田・中世古1971, Struik and Wiersema 1999). 本試験でもCT栽培の塊茎数は塊茎肥大初期ですでに収穫期と同程度であり, 塊茎肥大初期と収穫期の塊茎数の間に有意な正の相関関係が認められ, 塊茎肥大初期までに塊茎数が決定してい

第4表 MT栽培¹⁾およびCT栽培¹⁾での収穫期の供試品種における年次別での塊茎形質、および各形質のMT/CT比。

年次	品種名	塊茎数 (個/株)			平均塊茎一個重 (g)			塊茎生重 (g m ⁻²)			塊茎数増加割合 ¹⁾		
		MT	CT	MT/CT比	MT	CT	MT/CT比	MT	CT	MT/CT比	MT	CT	MT/CT比
1999	男爵薯	13.9	12.0	1.16	50	71	0.71	2809	3766	0.75	3.8	1.1	3.5
	農林1号	8.5	9.5	0.89	113	113	1.00	4262	4747	0.90	2.1	1.1	1.9
	キタアカリ	7.9	12.5	0.63	95	87	1.10	3331	4839	0.69	1.5	1.1	1.3
	ニシユタカ	8.0	13.1	0.61	133	100	1.34	4626	5632	0.82	1.2	1.2	1.1
	平均値	9.6	11.8	0.82	98	92	1.04	3757	4746	0.79	2.2	1.1	1.9
	LSD (p=0.05)	3.9	4.5	0.46	24	41	0.68	1708	1218	0.47	5.3	0.2	4.3
	C.V. (%)	26.1	11.6	27.0	31.4	16.8	21.8	19.2	13.9	10.0	46.5	2.1	47.9
2000	男爵薯	13.5	14.5	0.93	46	56	0.82	2765	3597	0.77	1.3	0.7	1.8
	農林1号	9.9	10.7	0.93	75	86	0.87	3292	4092	0.80	1.4	1.0	1.4
	キタアカリ	9.3	15.2	0.61	67	54	1.25	2776	3586	0.77	0.9	1.3	0.7
	ニシユタカ	13.5	16.0	0.84	78	74	1.05	4645	5222	0.89	2.0	1.0	2.0
	平均値	11.6	14.1	0.83	66	67	1.00	3370	4124	0.82	1.4	1.0	1.5
	LSD (p=0.05)	4.0	4.0	0.14	8	18	0.31	1286	243	0.34	0.2	0.4	0.5
	C.V. (%)	17.0	14.4	15.7	18.6	19.8	17.1	22.8	16.1	5.9	27.0	19.8	32.5
2003	男爵薯	12.5	11.2	1.12	40	57	0.70	2115	2819	0.75	3.6	1.3	2.9
	農林1号	7.3	9.1	0.80	126	120	1.05	4085	4785	0.85	2.0	1.3	1.5
	キタアカリ	7.0	8.8	0.79	97	99	0.98	3004	3905	0.77	1.7	1.2	1.4
	ニシユタカ	5.5	8.8	0.62	188	138	1.36	4581	5423	0.84	1.2	1.2	1.0
	平均値	8.1	9.5	0.83	113	104	1.02	3446	4233	0.81	2.1	1.3	1.7
	LSD (p=0.05)	1.7	2.9	0.16	18	33	0.24	293	1091	0.18	1.4	0.4	1.7
	C.V. (%)	33.0	10.6	21.5	47.3	29.1	23.0	27.8	23.1	5.6	42.7	3.8	41.8
2004	男爵薯	7.6	12.0	0.64	69	61	1.15	2354	3194	0.74	1.2	0.9	1.3
	農林1号	8.4	13.1	0.64	102	82	1.24	3790	4801	0.79	1.4	1.3	1.0
	キタアカリ	7.4	13.1	0.57	90	73	1.23	2969	4260	0.70	0.9	0.9	1.0
	ニシユタカ	8.4	16.7	0.50	127	79	1.60	4728	5856	0.81	1.2	1.3	1.0
	平均値	8.0	13.7	0.59	97	74	1.30	3460	4528	0.76	1.2	1.1	1.1
	LSD (p=0.05)	1.0	4.0	0.18	14	21	0.44	425	1258	0.19	0.2	0.3	0.3
	C.V. (%)	5.3	13.1	9.7	21.4	11.3	13.5	25.8	21.2	5.7	15.1	18.1	11.0
2005	男爵薯	10.4	12.2	0.85	50	64	0.78	2313	3470	0.67	1.2	0.8	1.5
	農林1号	13.9	9.4	1.48	67	116	0.57	4113	4860	0.85	2.8	1.2	2.4
	キタアカリ	8.9	14.6	0.61	92	74	1.24	3604	4838	0.75	1.1	1.0	1.1
	ニシユタカ	10.5	13.2	0.80	125	110	1.13	5848	6415	0.91	1.2	1.1	1.1
	平均値	9.9	12.4	0.82	91	91	1.00	3969	4896	0.81	1.6	1.0	1.5
	LSD (p=0.05)	3.3	3.8	0.29	27	10	0.44	833	1365	0.18	2.1	0.4	2.6
	C.V. (%)	19.5	15.5	38.1	37.1	24.6	33.4	31.9	21.3	11.6	65.5	11.8	63.7

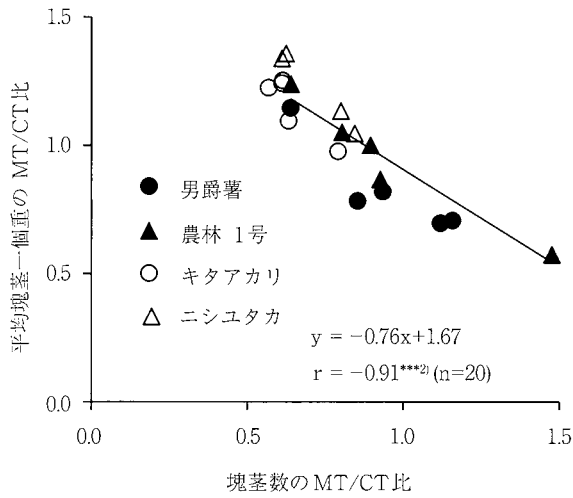
¹⁾ 第1表を参照。

たとえられた。一方、MT栽培の塊茎数は収穫期に比べ塊茎肥大初期で少なく、両時期の間に有意な相関関係が認められなかった。このため、MT栽培における塊茎数の決定時期はCT栽培に比べ遅れると推察された。さらに、MT栽培では塊茎肥大初期以降の塊茎数増加割合には品種間差異が認められ(第3表)、塊茎数増加割合が大きい品種では、収穫期における塊茎数のMT/CT比が大きく、一個重のMT/CT比が小さかった(第6表)。従って、MT栽培における塊茎肥大初期以降の塊茎数増加割合における品

種特性が収量形質におけるMT栽培特有の品種特性に影響を及ぼしたと推察した。

2. 塊茎肥大初期における塊茎数と地上部生育量の関係

MT栽培およびCT栽培のいずれでも、塊茎肥大初期前20日間の平均気温と塊茎肥大初期の塊茎数および茎葉生重との間にそれぞれ有意な正の相関関係が認められた(第7表)。O'Brienら(1998a)はCT栽培における塊茎形成の総説において、過去の多数の研究から考えると気温と塊



第2図 塊茎数のMT/CT比¹⁾と平均塊茎一個重のMT/CT比との関係。

¹⁾ 第1表および第2表を参照。

²⁾ ***: 0.1%水準で有意。

第5表 MT栽培¹⁾およびCT栽培¹⁾における収穫期の塊茎数と塊茎肥大初期の茎葉および塊茎形質との相関係数。

栽培方法	塊茎肥大初期			塊茎数増加割合 ²⁾
	茎数	茎葉生重	塊茎数	
MT	0.55 ³⁾	0.11	0.13	0.59 ^{**}
CT	0.29	0.69 ^{***}	0.77 ^{***}	-0.24

¹⁾ 第1表を参照。

²⁾ 第3表を参照。

³⁾ ***, **, *: 0.1%水準, 1%水準, 5%水準でそれぞれ有意 (4品種・5カ年でn=20)。

第6表 MT栽培¹⁾の塊茎肥大初期から収穫期における塊茎数増加割合と塊茎肥大初期および収穫期の各塊茎形質との相関係数。

塊茎生重	MT (塊茎肥大初期)		MT/CT ²⁾ (収穫期)	
	塊茎重比 ¹⁾	塊茎数	塊茎数	一個重
-0.56 ^{**3)}	-0.54 [*]	0.78 ^{***}	-0.68 ^{**}	

¹⁾ 第1表を参照。

²⁾ 第2表を参照。

³⁾ ***, **, *: 0.1%水準, 1%水準, 5%水準でそれぞれ有意 (4品種・5カ年でn=20)。

第7表 平均気温¹⁾および全天日射量¹⁾とMT栽培²⁾およびCT栽培²⁾の塊茎肥大初期における茎葉および塊茎形質との相関係数。

栽培方法	平均気温				全天日射量	
	茎数	茎葉生重	塊茎数	茎当たり塊茎数	塊茎生重	塊茎重比 ²⁾
MT	0.19	0.56 ³⁾	0.67 ^{**}	0.52 [*]	0.81 ^{***}	0.81 ^{***}
CT	0.13	0.87 ^{***}	0.67 ^{**}	0.54 [*]	0.57 ^{**}	0.43

¹⁾ 塊茎肥大初期前20日間, 7月1~20日。

²⁾ 第1表を参照。

³⁾ ***, **, *: 0.1%水準, 1%水準, 5%水準でそれぞれ有意 (4品種・5カ年でn=20)。

茎形成の間に明確な関係を導き出すのは難しく, 少なくとも温帯では気温が塊茎形成に及ぼす影響は重要でないと結論づけている。本試験でも塊茎肥大初期前20日間の平均気温は15~20℃と塊茎形成の適温範囲内 (Smith 1968) であり, 気温が直接, 塊茎形成ならびに塊茎肥大初期の塊茎数に影響を及ぼすことは少なかったと考えられた。

一方, 塊茎数と地上部生育との関係では, 一般的に塊茎数と茎数の相関関係が高いことが知られている (Smith 1968, Lemaga and Caesar 1990, Struik and Wiersema 1999)。しかし, 異なる年次の比較や同一年次内でも植え付け時期によっては, 塊茎数と茎数の間に必ずしも有意な相関関係が認められないとの報告もあり (Iritaniら 1983, Haverkortら 1990), 前述したO'Brienら (1998a) の総説でも収穫期の塊茎数は茎数よりも塊茎肥大初期の塊茎数との相関関係が高いと報告している。本試験でも, CT栽培において収穫期における塊茎数は茎数との相関関係が弱かったが, 塊茎肥大初期における茎葉生重と塊茎数との間には有意な相関関係が認められた (第5表)。西部ら (1987) は気温の高い年次で茎葉重の増加速度が大きいことを報告しており, 本試験でも塊茎肥大初期前20日間の平均気温と収穫期の茎当たり塊茎数の間に有意な相関関係が認められた (第7表) ことから, 本試験でみられた塊茎数と気温の関係は, 塊茎形成期の地上部生育量が茎当たりの塊茎数に影響を及ぼした結果と考えられた。すなわち, 塊茎肥大初期における塊茎数の決定においては, 茎数よりも茎当たりのストロンの塊茎化率の影響が大きかったと推察された。

3. 塊茎数増加割合と塊茎肥大初期における塊茎肥大量の関係

CT栽培に比べMT栽培では, 塊茎肥大初期の塊茎生重および塊茎重比における品種間差異が大きかった (第2表)。また, MT栽培では, それら両形質と塊茎肥大初期以降の塊茎数増加割合との間に有意な負の相関関係が認められた (第6表)。両栽培とも塊茎肥大初期の塊茎生重と塊茎肥大初期前20日間の日射量との間に有意な相関関係が認められた (第7表) ので, この時期では日射量が多いと同化産物が増加し, その結果, 塊茎生重が増加すると考えられる。CT栽培において塊茎形成期に強度の遮光処理を行うと, 無処理区に比べて塊茎形成の停止が遅れ, 塊茎

数増加期間が長くなり、その後、遮光処理を停止すると、塊茎増加数が多かったとの報告がある (Gray and Holmes 1970, Struik 1986, O'brienら 1998b)。

これらの報告は塊茎形成期あるいは塊茎肥大初期に日射量が少ないと、塊茎重の増加速度が妨げられ、塊茎数増加期間が延長されることを示している。本試験でも CT 栽培に比べ MT 栽培で塊茎肥大初期の塊茎生重が大きく劣った品種は、その後の塊茎数増加割合が大きかった (第 6 表)。このため、塊茎肥大と塊茎数増加期間には何らかの関係が存在し、MT 栽培で塊茎肥大初期の塊茎肥大量が少ない品種では、塊茎数増加期間が長くなり、その後の塊茎数増加割合が大きくなり、その結果、CT 栽培に比べより個数型になったと考えられた。

また、本試験では、MT 栽培の塊茎肥大初期における茎数と収穫期における塊茎数との相関関係が強かったが (第 5 表)、茎数には有意な品種間差異が認められなかった (第 1 表)。さらに、前報 (津田ら 2010) の多数の品種・系統を用いた試験では、MT 栽培の茎数と収穫期における塊茎数および一個重の MT/CT 比の間に有意な相関関係は認められなかった。これらのことから、茎数は MT 栽培特有の品種特性と直接関連するものではないと推察された。

4. MT 栽培における澱粉価の品種間差異

前報 (津田ら 2010) では、澱粉価において種イモ処理と品種の間に有意な交互作用が認められなかったが、本試験では有意な交互作用が認められた。この理由として、男爵薯では澱粉価の MT/CT 比が他品種に比べ小さかったことがあげられる。男爵薯は CT 栽培において「やや個数型」で一個重が比較的小さい品種に分類されている (農林水産技術情報協会 1981)。本試験では、MT 栽培の収穫期における男爵薯の一個重は年次間で 39.9~69.4 g の変異を示し、5 カ年の平均値は 51.1 g と小さく、他品種に比べてより個数型になる傾向が認められた (第 3 表)。同一条件で栽培された塊茎では、塊茎が 60 g 以下になると急激に澱粉価が低下することが知られており (岡 1976)、本試験の MT 栽培の男爵薯において澱粉価と収穫期の一個重の間に有意な正の相関関係が認められた ($r=0.70$, $p<0.05$, $n=10$)。この結果、本試験の澱粉価において種イモおよび品種の相互間に有意な交互作用が認められたと考えられる。

5. まとめ

以上の結果より、MT 栽培と CT 栽培では塊茎数の決定に大きな影響を及ぼす要因が異なり、収量形質において MT 栽培特有の品種間差異が生じたと考えられた。また、この MT 栽培特有の品種特性は年次の気象条件の影響を受けにくく、遺伝的に安定した特性であると考えられた。すなわち、MT 栽培では塊茎肥大初期の塊茎生育に大きな品種間差異が生じ、塊茎形成の停止あるいは塊茎肥大の開始

が大きく遅れる品種では、その後の塊茎数増加割合が大きく、より個数型になるものと推察した。MT を種イモに用いた採種栽培では、今回明らかになった MT 栽培特有の品種特性を利用して、品種によっては CT 栽培同様の増殖率での (塊茎数の多い) 栽培が可能である。また、初期の塊茎肥大量の大きいニシユタカ等の品種では、種イモ増殖に MT 栽培を利用するのみならず、一般販売用の生産を目的とした MT 栽培を行える可能性がある。

謝辞：平成 20・21 年度日本作物学会和文誌編集委員会の地域編集委員として本研究の取りまとめと論文の校閲に御尽力いただいた北海道大学教授・岩間和人博士ならびに平成 22・23 年度同地域編集委員として本論文の校閲に御尽力いただいた北海道立総合研究機構中央農業試験場・丹野久博士に心よりお礼申し上げます。また、本試験で用いた多数の品種の MT をご提供いただいたキリンホールディングス株式会社フロンティア技術研究所・大西昇氏を始めとする皆様方に深い感謝の意を表明します。

引用文献

- 秋田求 1996. 植物組織培養技術を利用したジャガイモマイクロチューバーの大量供給法に関する研究. 筑波大学学位論文 (国立国会図書館, 博士論文目録 96-U-538).
- Donnelly, D.J., W.K. Coleman and S.E. Coleman 2003. Potato microtuber production and performance : A review. *Amer. J. Potato Res.* 80 : 103 - 115.
- Gray, D. and J.C. Holmes 1970. The effect of short periods of shading at different stages of growth on the development of tuber number and yield. *Potato Res.* 13 : 215 - 219.
- Haverkort, A.J., M.V. Waart and K.B.A. Bodlaender 1990. Interrelationships of the number of initial sprouts, stems, stolons and tubers per plant. *Potato Res.* 33 : 269 - 274.
- Haverkort, A.J., M.V. Waart and J. Marinus 1991. Field performance of potato microtubers as propagation material. *Potato Res.* 34 : 353 - 364.
- Iritani, W.M., L.D. Weiler and N.R. Knowles 1983. Relationships between stem number, tuber set and yield of Russet Burbank potatoes. *Amer. J. Potato Res.* 60 : 423 - 431.
- Lemaga, B. and K. Caesar 1990. Relationships between numbers of main stems and yield components of potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Erntestolz) as influenced by different daylengths. *Potato Res.* 33 : 257 - 267.
- McIntosh, M.S. 1983. Analysis of combined experiments. *Agron. J.* 75 : 153 - 155.
- 西部幸男・岩間和人・中世古公男 1987. バレイショ生長の年次変異と気象条件の関係 第 1 報 茎葉生重における年次変異の発現過程と日射量, 気温および降水量との関係. 日作紀 56 : 293 - 301.
- 農林水産技術情報協会 1981. ばれいしょ種苗特性分類調査報告書. 1 - 76.
- O'brien, P.J., E.J. Allen and D.M. Firman 1998a. A review of some studies into tuber initiation in potato (*Solanum tuberosum*) crops. *J. Agri. Sci.* 130 : 251 - 270.
- O'brien, P.J., D.M. Firman and E.J. Allen 1998b. Effects of shading and

- seed tuber spacing on initiation and number of tubers in potato crops (*Solanum tuberosum*). J. Agri. Sci. 130 : 431-449.
- 岡啓 1976. ばれいしょ塊茎の粒大別でん粉価とその変異. 北農 43 : 23-30.
- Smith, O. 1968. Potatoes : production storing processing. AVI publishing, Connecticut. 1-642.
- Struik, P.C. 1986. Effects of shading during different stages of growth on development, yield and tuber-size distribution of *Solanum tuberosum* L. Amer. Potato J. 63 : 457.
- Struik, P.C. and S.G. Wiersema 1999. Seed potato technology. Wageningen Pers Publishing, Wageningen. 1-383.
- 津田昌吾・森元幸・小林晃・高田明子 2010. 国内主要 28 バレイシヨ品種・系統を用いたマイクロチューバーを種イモとする圃場栽培における収量形質の品種間差異. 日作紀 79 : 262-267.
- 吉田稔・中世古公男 1971. ばれいしょの生理学的研究 第 7 報 塊茎数・塊茎重および塊茎比重の推移について. 北大農邦紀要 8 : 49-58.
- Wang, P. J. and C. Y. Hu 1982. In vitro mass tuberization and virus-free seed potato production in Taiwan. Amer. J. Potato Res. 59 : 33-37.

Mechanism for Regulating Yield Components in the Fields of the Plants Grown from Potato Microtubers : Shogo TSUDA, Motoyuki MORI, Akira KOBAYASHI and Akiko TAKADA (*Natl. Agr. Res. Cent. for Hokkaido Reg., Memuro 082-0081, Japan*)

Abstract : Potato microtubers (MT), generally 1 gram fresh weight, are mass-produced under in-vitro conditions, and they are used as seed tubers in the fields. We previously found the varietal differences in tuber yield characters of plants grown from MT, and the varieties were divided into two groups; one with a larger number of tubers with lighter individual tuber weight than in plants from conventional seed tubers (CT) (tuber-number type), and the other with opposite characters (tuber-weight type). The purpose of this study is to make clear the mechanism of regulating the yield characters of MT plants. We conducted experiments using four varieties, including different types of the yield characters in MT plants, for five years. In all five years, the MT/CT ratio in tuber number was negatively correlated with that in individual tuber weight. The number of tubers increased from an early tuber growth stage to a harvest time was larger in MT plants of tuber-number type varieties than in that of tuber-weight type varieties. There was a significant negative correlation between the increased number of tubers and the tuber yield at an early tuber growth stage. These results suggest that tuber growth may affect earliness or lateness of the end of tuber formation. The findings of the characteristics of varieties found in this study may be useful to improve the multiplication rates of the seed potato production using MT plants.

Key words : Microtuber, Potato, Individual tuber weight, Tuber number, Tuber-number type, Tuber-weight type, Tuber yield, Varietal difference.