

細胞質雄性不稔性

私 (P. Grun) が大学院生だった頃、コーネル大学のバレイショ育種家 J. R. Livermoreがこう言ったのを思い出す。

“Nine times out of ten one of the two clones that you wish to cross will not flower, but if they both do flower, nine times out of ten they will both be male sterile. If one is male sterile, nine times out of ten the other one will be female sterile. If a berry is set, nine times there are very few seed will be set, and they will not germinate. If they do germinate, nine times out of ten the plants will be extremely weak, but if they are good strong plants that form good tubers, nine times out of ten they will be sterile.”

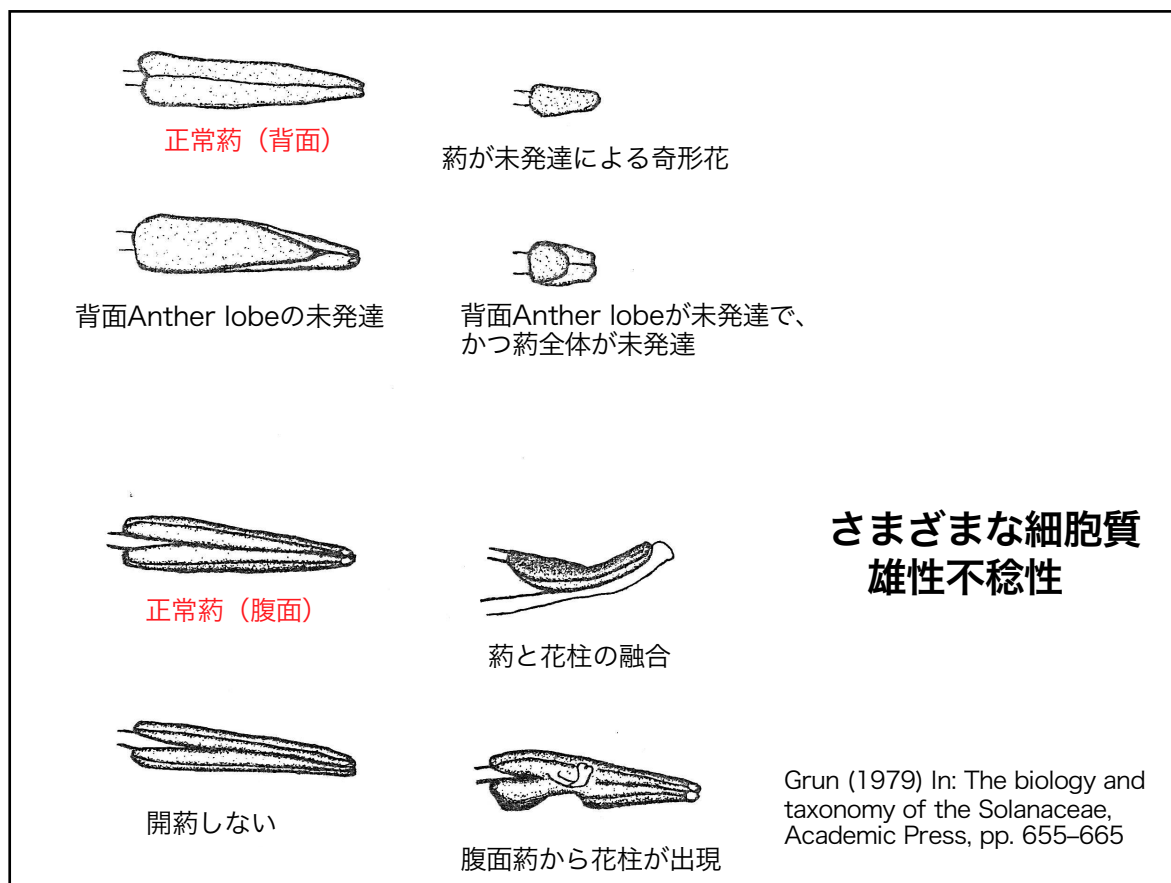
Grun & Staub (1979) In: Report of the Planning Conference on the Exploration, Taxonomy and Maintenance of Potato Germplasm III. CIP, pp. 141-152

1

近代品種の持つ細胞質ゲノムの由来

細胞質ゲノム供与親	Crossability
<i>S. tuberosum</i>	
ssp. <i>tuberosum</i>	Frequent sterility
ssp. <i>andigena</i>	Male and female fertile (?)
<i>S. demissum</i>	Unilateral incompatibility
<i>S. stoloniferum</i>	Complete male sterility
<i>S. phureja</i>	Male and female fertile (?)

2



3

細胞質雄性不稔性				
Table 52.1. Sorts of cytoplasmic sterilities that operate in the species involved in the evolutionary pathways of cultivated potatoes*				
細胞質側	核側			
Cytoplasmic factor	Expression	Dominance	Number	Penetrance (遺伝子浸透度)
[df ^s]	Deformed flowers having short anthers or none	Recessive	1	High
[lo ^s]	Dorsal anther lobes underdeveloped	Recessive	1	Variable
[Sp ^s]	Sporads in meiotic stages in anthers of open flowers	Dominant	1	High
[SM ^s]	Predominantly or only shrivelled empty microspores in anthers of open flowers	Dominant	?	High, but not expressed in sporocytes developmentally stopped at sporad stage
[In ^s]	Anther pores do not open normally	Dominant	≥ 5	High, but a few terminal anther pores may open in an otherwise indehiscent plant
[TA ^s]	Anther width reduced	Dominant	?	Consistently expressed. Difficult to evaluate since genic basis uncertain
[ASF ^s]	Anthers fused to style	Dominant	?	Variable. Often associated with ventral styled anthers
[VSA ^s]	Small styles on ventral surface of anthers	Dominant	?	Variable. Often associated with anther-style fusion
[Fm ^s]	Cytoplasmic female sterility	Dominant	?	Low. Modified by male fertility flowering time and insect activity

Grun (1979) In: The biology and taxonomy of the Solanaceae, Academic Press, pp. 655-665

4

雄性不稔性を引き起こす細胞質因子の可否 (+/-)

Table 52.2. Cytoplasmic sensitivities of cultivated potato species and some of their relatives¹

Taxon	[<i>df</i> ³]	[<i>lo</i> ³]	[<i>Sp</i> ³]	[<i>SM</i> ³]	[<i>In</i> ³]	[<i>TA</i> ³]	[<i>ASF</i> ³]	[<i>VSA</i> ³]	[<i>Fm</i> ³]
<i>S. tuberosum</i>									
<i>ssp. tuberosum</i>									
Northern Hemisphere	—	— ³	+	+	+	+	+	+	+
Coastal Chile	—	—	+	+	+	+	+	+	?
<i>ssp. andigena</i>	—	+	—	—	—	—	—	—	—
<i>S. stenotomum-phureja</i>	+	(+)	—	—	—	—	—	—	—
<i>S. vernei</i>	—	?	—	—	—	—	—	—	—
<i>S. maglia</i> ³	(—)	?	(—)	(—)	(—)	?	(—)	(—)	(—)
<i>S. chacoense</i> f. <i>gibberulosum</i>	—	(—)	+	+	+	?	?	?	?

¹ Based on data in reference cited in Table 52.1, (*S. maglia* results from Grun, unpubl.). Values in parentheses are results of tests of cytoplasm of single clones.

+, Presence of indicated cytoplasmic factor; —, absence of indicated cytoplasmic factor.

³ Based on test of the cytoplasm of a triploid clone from Valparaiso Province, Chile.

³ One exception exists, the clone Hindenburg apparently having [*lo*³].

S. tuberosum *ssp. tuberosum* 細胞質ゲノム (T型) はたくさんの
雄性不稔を引き起こす因子を持っている

Grun (1979) In: The biology and taxonomy of the Solanaceae, Academic Press, pp. 655–665

5

T 型細胞質によって生じる雄性不稔性

交雑組み合わせ	正常		雄性不稔	
	No.	%	No.	%
2x T × 2x T	210	28	538	72
4x T × 2x P	1026	57	760	43
2x P × 4x T	1478	96	66	4
4x T × 4x T	415	71	167	29
4x T × 4x T (正逆交雑)	467	72	182	28

2x P = 2x hybrid (*S. phureja* or *S. stenotomum* × 2x *tuberosum*) (M, P, or A type)

2x T = 2x *tuberosum* × *S. phureja* or *S. stenotomum* (T type)

4x T = 4x cultivar (T type)

正常か雄性不稔かの判断は葯を震動させて花粉が出るか出ないかによる

Hanneman & Peloquin (1981) TAG 59:53-55

6

T 型細胞質によって生じる雄性不稔性

交雑組み合わせ	正常		雄性不稔	
	No.	%	No.	%
Katahdin × 2x P	62	49.6	63	50.4
Kennebec × 2x P	32	31.1	71	68.9
Merrimack × 2x P	187	61.9	115	38.1
Platte × 2x P	75	81.5	17	18.5
Wis. 231 × 2x P	151	71.6	60	28.4
Wis. 639 × 2x P	236	66.5	119	33.5

2x P = 2x hybrid (*S. phureja* or *S. stenotomum* × *2x tuberosum*) (M, P, or Atype)

品種に稔性回復遺伝子の存在を示唆した

Hanneman & Peloquin (1981) TAG 59:53-55

7

4x T (♀) × (♂) 2x P (FDR 2n花粉形成系統) において期待される分離頻度

4倍体品種 (♀)		2x P (FDR 2n花粉) : rtrt Msms	
		雄性不稔	正常
rtrtrtrt	msmsmsms	3	1
Rtrtrtrt	msmsmsms	45	67 or 2 : 3
RtRtrtrt	msmsmsms	9	45 or 1 : 5
RtRtRtrt	msmsmsms	3	109 or 1 : 36
RtRtRtRt	msmsmsms	0	1

2x P はT型細胞質に対して雄性不稔（花粉染色率が5%以下）を生じさせるMale sterility (Ms)遺伝子を持つ

品種は稔性回復遺伝子Restorer (Rt)遺伝子を持つ

Iwanaga et al. (1991) Am Potato J 68:19-28

8

4x T (♀) × (♂) 2x P (FDR 2n花粉形成系統) の 交配結果 (抜粋)

4倍体品種 (♀)	観察個体数		適合分離比		推定 遺伝子型
	雄性不稔	正常	雄性不稔	正常	
Atlantic	22	18	2	3	Rtrtrtrt
Early Gem	16	4	3	1	rtrtrtrt
Kennebec	17	3	3	1	rtrtrtrt
Lenape	35	16	3	1	rtrtrtrt
Monona	22	21	2	3	Rtrtrtrt
Norchip	15	13	2	3	Rtrtrtrt
Raritan	0	22	0	1	RtRtRtRt
Red Pontiac	30	10	3	1	rtrtrtrt
Sebago	29	5	3	1	rtrtrtrt
Superior	21	6	3	1	rtrtrtrt
Wischip	21	27	2	3	Rtrtrtrt

品種中の稔性回復遺伝子 (*Rt*) 頻度は0.20と推定した

Iwanaga et al. (1991) Am Potato J 68:19-28

9

T 型細胞質による雄性不稔

★ T型細胞質による雄性不稔の稔性回復の判定は、花粉染色率5%以下を不稔とし、それ以上を正常と判断した。したがって、*Rt* 遺伝子はGrun et al. (1977)の*SM* 遺伝子に相当すると思われる

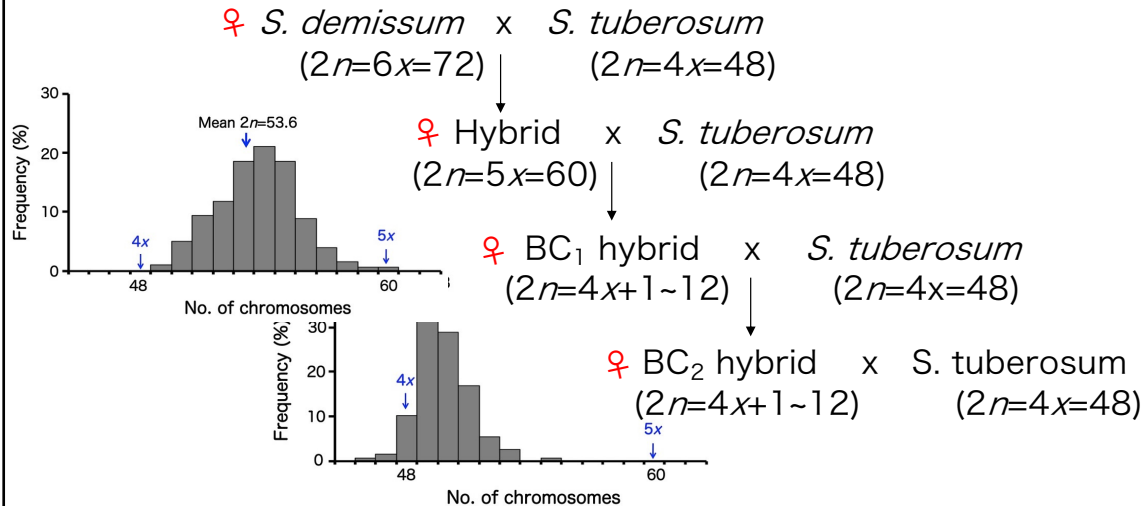
SM 遺伝子 : predominantly or only shriveled empty microspores in anthers of open flowers

Grun et al. (1977) Am J Bot 64:412-420

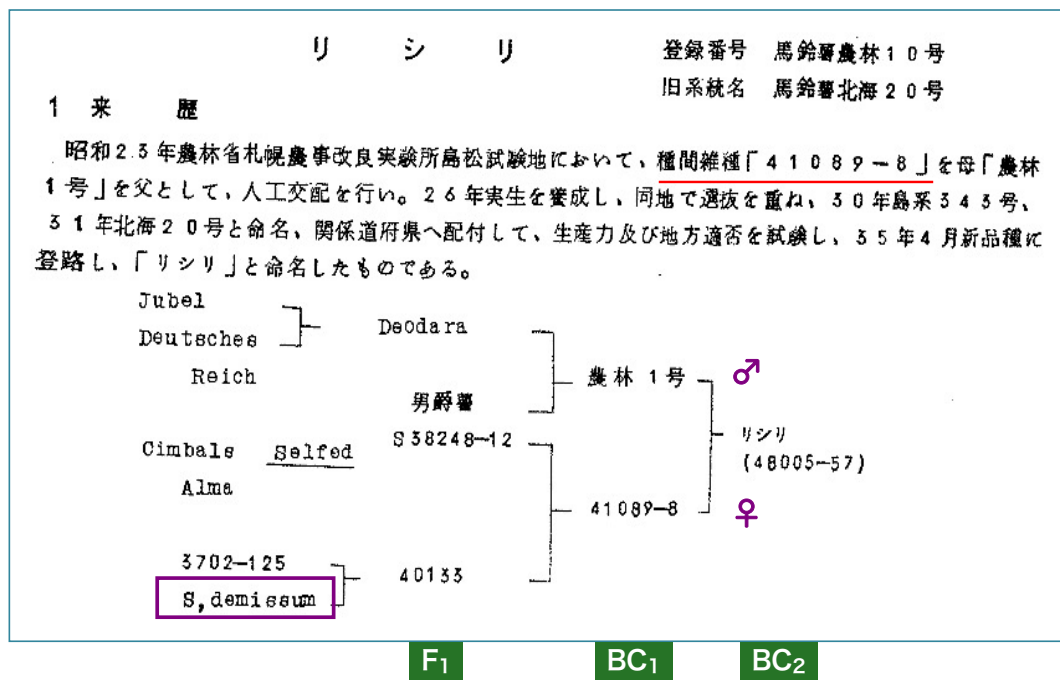
10

D型細胞質による機能的雄性不稔性

★ *S. demissum* (D型細胞質) と *S. tuberosum* の交配においては、*S. demissum* を母親にした時のみ成功し、その5倍体F1雑種は多くの正常花粉を産出するが、*S. tuberosum* への戻し交配において雄親として機能しない。このような雄性不稔性は戻し交配を10回以上続けても同様である。 Dionne (1961) Am Potato J 38:117-120



11



リシリの系譜 ($2n=51$)

12

Reciprocal crosses between *S. tuberosum* and *S. demissum*

D self (122 plants of 25 Pls)	→	418 berries from 449 flowers Berry setting rate of 92.8% 166.8 seeds/berry 0.41 mg/seed
D × T ♀ ♂ (110 plants of 25 Pls)	→	395 berries from 488 flowers Berry setting rate of 81.2% 34.0 seeds/berry 0.94 mg/seed
T × D ♀ ♂ (28 plants of 9 Pls)	→	45 berries from 232 flowers Berry setting rate of 18.7% 113.2 seeds/berry 0.39 mg/seed

Sanetomo et al. (2011) Am J Potato Res 88:500-510

13

Crossability

Cross	Flowers	Berries	Rate (%)	Seeds	mg
DT self	223	0	0	-	-
TD self	161	7	4.2	10.1	0.73
DT×T	183	45	24.5	32.3	0.93
TD×T	426	141	30.8	33.2	0.97
T×DT	103	0	0	-	-
T×TD	103	0	0	-	-
DT×D	150	30	21.7	62.2	0.53
TD×D	171	34	25.3	84.3	0.59
D×DT	94	19	24.2	30.0	0.62
D×TD	123	78	64.9	46.2	0.63

DT雑種でもDに対しては花粉の機能を持つ

Sanetomo et al. (2011) Am J Potato Res 88:500-510

14

D型細胞質による機能的雄性不稔性

- ★ *S. demissum* に由来するD型細胞質下で、*S. tuberosum* および *S. demissum* の持つ核遺伝子の相互作用に起因する機能的雄性不稔性と考えられるが (Sanetomo et al. 2011)、連続戻し交配により核ゲノムを *S. tuberosum* に置換しても雄性不稔性は維持される。
- ★ D型細胞質を持っていても、花粉親として機能する品種も存在する (Tunika、パールスターチ、など)。

Sanetomo et al. (2011) Am J Potato Res 88:500-510

15

P型細胞質葯欠損型雄性不稔性

- ★ P型細胞質 ($[df^s]$) で潜性核遺伝子 *dfdf* ホモ接合型になると葯が欠損する。Grun et al. (1962) Genetics 47:1321-1333
- ★ *S. phureja* DM 細胞質 (P型) で、*S. chacoense* M6 由来の潜性遺伝子 *short anther* がホモ接合型 (*sasa*) になると葯が欠損する。*sa* は第6染色体に座乗する。Endelman & Jansky (2016) TAG 129:935-943
- ★ P型細胞質を持ち、*S. microdontum* subsp. *gigantophyllum* 由来の潜性遺伝子 *antherless* ホモ接合型 (*alal*) になると葯が欠損する。*al* は第6染色体に座乗する。Eggers et al. (2024) Biology 13:447

同じ遺伝子と考えられるが、4倍体品種ではP型細胞質を持つものは少なく、しかも、潜性ホモ接合型は出にくいので問題とならないだろう



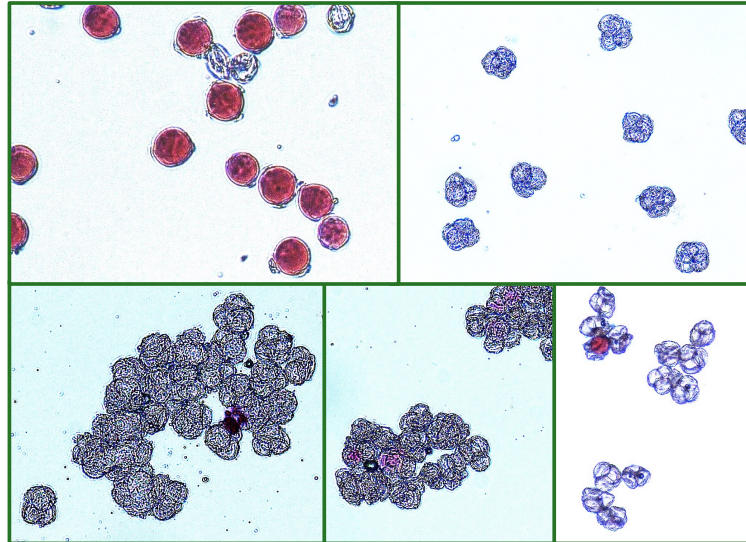
河又 (2026) 修論

16

四分子型雄性不稔性 Tetrad-pollen-type cytoplasmic male sterility (T-CMS)

1642/4 (正常花粉)

Serrana Inta

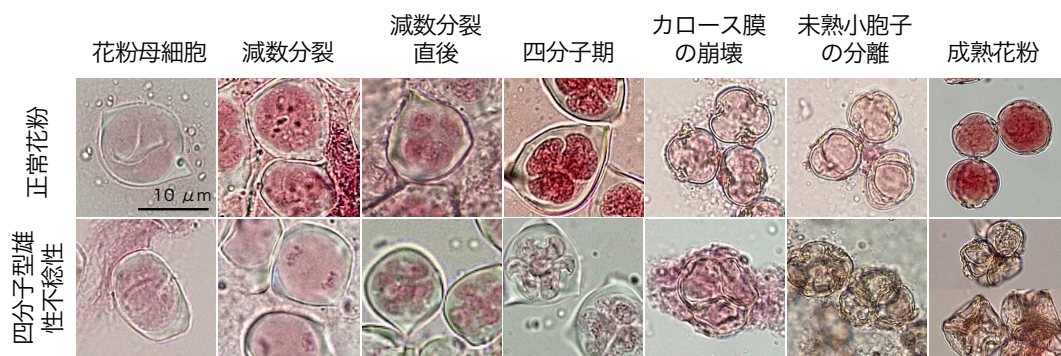


Hokkai 56

WB88055-8

Verdi

17



四分子期で停止する

四分子型花粉の形成過程

Sanetomo & Okamoto-Suzuki (2025) BMC Plant Biology 25:1729

18

四分子型雄性不稔性は *S. stoloniferum* 細胞質が原因

S. stoloniferum からYウイルス抵抗性遺伝子 (R_{ysto}) が導入された

S. stoloniferum x cv. Erika

♀ ♂



German and Polish cultivars

S. stoloniferum x cv. Polonia

♀ ♂



Polish cultivars

S. stoloniferum x cv. Frühmolle

♀ ♂



German cultivars

Song & Schwarzfischer (2008) Am J Potato Res 85:159-170

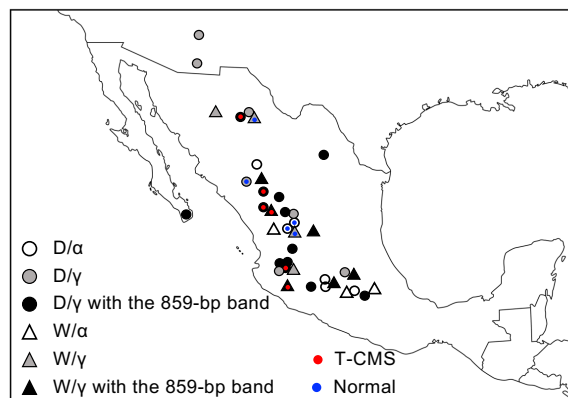
19

四分子型雄性不稔性を引き起こす *S. stoloniferum* 細胞質

- ★ 四分子型雄性不稔性を引き起こす *S. stoloniferum* の細胞質型はW型でミトコンドリアは γ 型 (W/ γ 型)

Lössl et al. (2000) Euphytica 116:221-230

- ★ W/ γ 型細胞質が必ずしも四分子型雄性不稔性を引き起こすわけではなく、TSC_{sto}細胞質が四分子型雄性不稔性を引き起こす

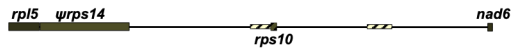


Sanetomo & Nashiki (2021)
Genet Resour Crop Evol
68:3383-3397

Geographical distribution of *S. stoloniferum*

20

ミトコンドリアゲノムと核遺伝子の不調和による四分子型雄性不稔性



組換え型ミトコンドリアDNA
に新たなORFができる

Sanetomo et al. (2022) BMC Plant Biol 22:302

稔性回復遺伝子の探索

Sanetomo & Okamoto-Suzuki (2025) BMC Plant Biol 25:1729

