

わが国チャ遺伝資源の多様性とその 育種への利用に関する研究[†]

武 田 善 行

(平成 13 年 12 月 15 日受理)

Studies on Variations in Genetic Resources of Tea in Japan and Application to Tea Breeding

Yoshiyuki TAKEDA

Synopsis

The Makurazaki Station of the National Institute of Vegetable and Tea Science has preserved many valuable tea plants as genetic resources for tea breeding. In this study some morphological and physiological characteristics of the plants were investigated both for the markers used for classifying the two varieties, *i.e.*, var. *assamica* and var. *sinensis* of *Camellia sinensis* and for use as breeding materials. Remarkable differences were observed between the two varieties in the color of the mature leaf, pubescence of young leaf, cold hardiness and caffeine and tannin contents. In terms of contents of chemical components such as caffeine and tannin, a decreasing cline was observed from India, Bangladesh and Myanmar to mainland China and to Japan.

The heritability values of the resistance to tea anthracnose were estimated to range from 0.73 to 0.86 and almost all the tea plants originating from foreign countries were resistant to this disease. In Japan, native plants belonging to the var. *sinensis* displayed large variations in the disease severity and the plants collected from the southern Kyushu districts showed a high rate of resistance to the disease. It was assumed that they had been selected through cultivation under high temperature and heavy rainfall conditions which promote the infection.

An effective artificial testing method for tea gray blight caused by the fungus, *Pestalotiopsis longiseta* was developed in this study. The inheritance of the resistance to the disease was analyzed using many cross combinations by this method. Genetic analysis revealed that the resistance to tea gray blight caused by *P. longiseta* was controlled by two independent dominant resistance genes Pl_1 and Pl_2 . The gene Pl_1 which confers a high level of resistance is genetically epistatic in relation to the Pl_2 gene which confers a moderate level of resistance. The phenotype and genotype of the resistance to tea gray blight were very simple in the Assam plants (var. *assamica*) and almost all the tea plants showed a high level of resistance with homozygosity of the Pl_1 gene which controls a high level of resistance. On the contrary, Japanese native plants showed a wide variation in the resistance to this disease and introduced China plants belonging to the var. *sinensis* showed a resistance intermediate between that of the Assam plants and Japanese native plants.

The phenotypes and genotypes related to the resistance to tea gray blight of 88 major cultivars in Japan were identified in this study. The gene (Pl_1) conferring a high level of resistance to the Japanese cultivars was mainly derived from plants introduced from foreign countries, contributing to the breeding for

〒898-0032 鹿児島県枕崎市別府 15451
茶業研究部

[†] 本論文は、筑波大学学位審査論文を基に編集加筆したものである。本論文の一部は茶業研究報告 52: 1~6 (1980), 78: 11~21 (1993), 87: 39~57 (1999), 茶業技術研究 50: 1~8 (1976), 野菜・茶業試験場報告 B 2: 25~39 (1988), B 9: 1~29 (1996), 日本作物学会九州支部報 62: 82~85 (1996), JARQ 28: 17~23 (1994) および台湾における国際シンポジウム Recent Development in Tea Production: 205-212 (1988) において発表した。

resistance to tea gray blight in Japan.

It is considered that the results obtained in this study in relation to the variations and genetic diversity are fully applicable to the genetic resources of tea in Japan.

Key Words: tea, *Camellia sinensis*, genetic resources, gray blight, *Pestalotiopsis longiseta*, genetic analysis, catechin, caffeine

目 次

用語解説	98
I 緒 言	99
II チャ遺伝資源の形態的形質の変異に関する解析	102
1 成葉形質の変異	102
2 新葉毛茸の分布特性の変異とその類型化	109
3 花器形質の変異とその分類への適用	115
4 要 約	122
III チャの生理生態的形質の変異とその育種への利用	122
1 耐凍性の評価とその変異	123
2 炭疽病抵抗性の変異と育種への利用	127
3 輪斑病抵抗性検定法の開発とチャ遺伝資源の評価	130
4 要 約	139
IV チャの葉内化学成分の変異とその育種への利用	139
1 チャ遺伝資源のカフェイン含有率の変異と低カフェイン育種素材の選抜	140
2 チャ遺伝資源のカテキン含有率の変異と高カテキン中間母本の育成	141
3 カフェイン含有率とタンニン含有率によるチャの変種間分類	144
4 チャの紅色花色の遺伝様式の解明	145
5 チャの成分育種に関する一考察	145
6 要 約	147
V チャ輪斑病抵抗性の遺伝様式の解明とその育種への利用	147
1 輪斑病抵抗性の遺伝様式の解明	148
2 交雑後代における輪斑病抵抗性の遺伝様式の検定	151
3 チャ遺伝資源の輪斑病抵抗性に関する遺伝子型の検証	153
4 輪斑病高度抵抗性遺伝子 Pl_1 をホモに持つ遺伝子型の検定	155

5 主要品種の輪斑病抵抗性に関する表現型と遺伝子型	157
6 育成品種の輪斑病抵抗性による親子検定	161
7 要 約	163
VI 総合考察	163
1 わが国チャ遺伝資源の多様性	163
2 遺伝様式の解析による輪斑病抵抗性の育種	165
3 新たな育種目標に対するチャ遺伝資源の役割	167
摘 要	169
附 表	171
引用文献	173
Summary	177

用語解説

遺伝資源の多様性

遺伝資源の多様性とは遺伝資源の持つ遺伝的変異の多様性を示す。本論文で行った研究は、野菜茶業研究所枕崎茶業研究拠点のチャ遺伝資源について行ったものであり、研究材料は同一の環境で栽培されている。このためここでの変異は主に遺伝的変異を表している。

チャと茶

チャはチャの木（茶樹）を指し、チャの木の葉を加工したものが茶である。但し、本論文では誤解を招くことなく、用語として定着している場合は植物としてのチャも茶の字を使用した。例：茶樹、茶園など

アッサム種と中国種

北村（1950）、SEALY（1958）の分類に従い、チャを下記の2つの変種として分類した。正しくはアッサム変種、中国変種とすべきであるが、慣用的にはアッサム種、中国種として用いられているため、ここではそれに従った。*Camellia sinensis* var. *assamica* アッサム種
半喬木性、大葉種、耐凍性小、発酵性大、カフェイン

およびカテキン含量が多い。

Camellia sinensis var. *sinensis* 中国種

灌木性，小葉種，耐凍性大，発酵性小，カフェインおよびカテキン含量が少ない。

日本在来種とヤマチャ

分類学的には日本在来種とヤマチャは中国種 (*C. sinensis* var. *sinensis*) に属する。日本在来種は栄養系(挿木，接木などで繁殖したもの)ではなく，古くから種子で繁殖されたチャの集団。ヤマチャは主に九州，四国，中国地方の山間部に自生しているチャを指す。その来歴には日本固有説と渡来説があるが，最近では渡来説が有力になっている。

アッサム雑種

アッサム種と中国種の変種間雑種およびその後代一般を指す。従ってアッサム種に近いものから，中国種に近いものまで範囲は広いが，ここでは耐寒性のある紅茶用品種育成のためにアッサム種と中国種を人工的に交雑して育成したものを主にアッサム雑種とした。

耐凍性と耐寒性

耐凍性はハードニングの進んだ冬季に凍結などにより植物が受ける障害に対する抵抗性とした。耐寒性は低温による植物組織の凍結だけではなく，冬季間の耕土の凍結あるいは凍結に伴う風や乾燥など種々の障害に対する総合的な抵抗性と定義した。

機能性成分

食品をその機能の面から一次機能(栄養機能)，二次機能(感覚機能)，三次機能(体調節機能)として捉えると，茶は嗜好性(二次機能)に加えて体に生理的效果を与える三次機能を有する食品である。ここでは主にカテキン，カフェイン，アントシアニンを指す。

タンニンとカテキン

タンニンは皮をなめす(tan)性質もった植物成分に与えられた総称。タンニンは植物界にはかなり広く分布しており，一般には渋味を呈する。チャのタンニンはその80～95%がフラバン-3-オール類で，その主なものは(-)-エピガロカテキングレート((-)-EGCG)，(-)-エピガロカテキン((-)-EGC)，(-)-エピカテキングレート((-)-EcG)，(-)-エピカテキン((-)-Ec)などのカテキン類であることから，チャのタンニ

ンはほとんどがカテキン類であり，茶(チャ)ではタンニンはカテキンとほとんど同義に使われている。

成分育種

ここでは主に機能性成分に着目して，その成分を多く含む方向あるいは少なく含む方向に選抜目標をもって行う育種を指す。

I 緒言

チャ(*Camellia sinensis* (L.) O. KUNTZE)はアジアを中心にアフリカ，南アメリカなど30カ国を超える国と地域で栽培され(BARUA, 1989)，1997年度の統計ではその栽培面積は233万ha，茶の生産量は273.4万tで，その75%が紅茶として生産され，残り25%は緑茶を中心に半発酵茶(ウーロン茶類)などが生産されている(日本茶業中央会，1999)。

わが国における茶の消費はここ20年間は12～13万tで推移しているが，最近，茶はノンカロリーな健康飲料として注目されるようになり，わずかではあるが消費が増加に転じている。このような状況の中で茶の消費内容は飲用形態も含めここ十数年間に大きく変化した。すなわち，1980年頃からウーロン茶の消費が伸び，続いて紅茶の消費も増大したが，反対に緑茶の消費は次第に減退した。ウーロン茶，紅茶のこの消費の増加は缶入り飲料あるいはペットボトル飲料など簡易に飲める製品開発に依るところが大きい。生活様式の変化や嗜好の多様化も見逃すことは出来ない。その後，緑茶系の缶入り飲料等も相次いで開発され，緑茶消費の漸減傾向に歯止めがかかったが，茶の葉を購入して飲むこれまでのような茶の消費は依然低減傾向にある。その結果，現在では緑茶9万t，ウーロン茶，紅茶がともに約2万t，合計13万tがわが国の1年間の茶類の消費量である。

一方，チャの栽培面積は1980～'83年の6.1万haをピークに漸減傾向にあるが，優良品種の普及により単位面積当たりの生産力は高まっている。実生の在来種茶園から栄養系品種への転換は，1970年代頃から次第に進み，とりわけ1975年以降は緑茶品質の優れた‘やぶきた’への集中化が加速度的に進んだ結果，現在では‘やぶきた’が全体の76%を占めている(日本茶業中央会，1999)。これを実生の在来種茶園を除いた栄養系の品種茶園についてみると，実に85%が‘やぶきた’一品種で占められることになり，多くの問題が顕在化してきている。例えば，栽培面では，摘採期の集中による労働過重

や適期に摘採ができないことによる品質の低下があげられる。一方、加工面では、摘採期の集中に対応して製茶工場の大型化が図られてきたが、これは製茶工場の操業日数の短縮につながり、結果として過剰投資を招いている。また、‘やぶきた’偏重は香味の単一化と病害虫の多発を招き、これによる茶の消費減退と防除費の増大は茶業経営を圧迫している。このようなことから最近では、嗜好の多様化への対応として特徴ある香味特性を持った品種の開発、また、環境保全型茶業への対応として病害虫に強い品種や少肥適応性品種の開発などが求められており、育種目標も大きく変化してきている。

近年、国民の健康志向の高まりから茶に含まれる機能性成分（カテキン、フラボン、アミノ酸、カフェインなど）が注目されている。その結果、茶の成分に着目した成分育種も重要な育種目標になっている。これら多様化した育種目標を達成するためには従来の日本在来種を中心とした狭い育種素材では十分に対応することは困難となり、多様な変異を持つチャ遺伝資源の利用が必要になってきた。

チャはカメリア属に分類され、2つの変種、すなわち中国種 (var. *sinensis*) とアッサム種 (var. *assamica*) に分ける分類法が一般的に用いられている (SEALY, 1958)。わが国の在来種は中国種に分類され、その起源は、僧栄西 (1141 ~ 1215) が中国から持ち帰ったチャの種子などが日本在来種の形成に関与したされているが、日本書紀には 815 年に畿内、丹波播磨地方にはチャの栽培があったことが記されており、それ以前にも中国から導入された可能性が高い (大石, 1983)。一方、九州、四国、中国地方などの山間部にはヤマチャと言われる自生チャがあり (谷口, 1936)、現在でも九州、四国のヤマチャ地帯ではこれらを利用した茶の生産が行われている。しかしながら、ヤマチャについては在来種とほとんど区別できないことから、ヤマチャの日本固有説については疑問が持たれている (谷口, 1936; 松元ら, 1999)。

育種では遺伝資源の持つ遺伝的な変異の多様性が重要であるが、わが国の在来種およびヤマチャはその変異が非常に小さいことが耐凍性 (鳥屋尾ら, 1988)、新葉の毛茸特性 (武田ら, 1993)、新葉内のカフェインとタンニン含有率 (TAKEDA, 1994)、エステルアゼイソザイム (NAGATO and OSONE, 1982)、フェニルアラニンアンモニリアアーゼ (Phenylalanine ammonia-lyase; PAL) の RFLP 分析 (松元・竹内, 1996; 松元ら, 1997, 1998, 1999) などで明らかにされている。今後ますます多様化する育種目標に対応していくためには、アッサム

種、アッサム雑種 (アッサム種と中国種の変種間雑種)、海外から導入した中国種 (導入中国種) などを積極的に利用して変異の幅を広げていくことが必要である。そのためにはこれら遺伝資源の持つ特性の評価と変異の解明が重要である。

野菜茶業研究所枕崎茶業研究拠点 (以後野菜茶業研究所 (枕崎) と略す) はその前身である農林省の紅茶指定試験地時代までを含めるとチャの育種についての長い歴史を持っており、特に 1932 年から始まった交雑育種ではインドや中国などの多様な海外遺伝資源を積極的に導入して組織的な紅茶用品種の育成を行ってきた経緯がある (農林省茶業試験場, 1963)。このため、野菜茶業研究所 (枕崎) には耐寒性の弱いアッサム種や海外からの導入中国種をはじめアッサム種と中国種の変種間雑種など貴重なチャ遺伝資源が今日まで多数保存されており、わが国のチャ遺伝資源研究を行う上で最も良い条件を備えている。

遺伝資源は生物多様性条約により各国ともその管理が非常に厳重になってきているが、多くの未利用遺伝資源を保有する熱帯、亜熱帯の開発途上国においても遺伝資源に対する認識が高まり自国の遺伝資源を保護しようとする機運が強まっている。このようなことからわが国でも自国の遺伝資源の管理を強化するとともに既存の遺伝資源の評価がこれまで以上に重要になってきた。

わが国のチャ遺伝資源は主に農林水産省のジーンバンクに登録されているが、その総数は 1998 年度末現在 6,295 点に達し (農業生物資源研究所, 1999)、中国の約 2,500 点 (CHEN *et al.*, 1997)、インドの約 500 点 (BEZBARUAH and DUTTA, 1977) に比べて質、量ともに充実している。しかしながら、これらの遺伝資源は一部を除き特性がほとんど調査されておらず、また、調査基準も一定していなかったために多くは未利用のまま保存されてきたが、農林水産省ジーンバンク事業により 1983 年から組織的な特性評価が開始された。また、最近では DNA レベルでの研究手法が飛躍的に進歩し、質的形質だけでなく量的形質についても遺伝子レベルで解析できるようになってきたが、これには遺伝資源の持つ遺伝的な変異の多様性とともに関々の遺伝資源の正確な特性評価が必要である。

そこで本研究では、野菜茶業研究所 (枕崎) のチャ遺伝資源について分類の最も基準になる外部形態について、成葉の諸形質、新葉の毛茸特性、花器形質などを取り上げ、それを基にアッサム種および中国種の変種間変異をはじめ、チャの遺伝資源を構成している各収集群の特性を明らかにした。これらの研究成果は野菜茶業研究所

(枕崎)の遺伝資源の多様性を示すだけでなく、チャの種内分類の基礎資料としても重要である。また、今後チャの遺伝資源の収集あるいは導入を検討する上でも有益な情報を提供することになる。

チャの育種におけるこれからのキーワードの一つとして環境負荷低減型茶業の推進がある。茶栽培では年間12～13回の農薬散布が行われているが、農薬使用の削減には病害抵抗性品種の育成が課題となる。わが国で最も被害の大きい病害は炭疽病と輪斑病であるが、‘やぶきた’をはじめとするわが国主要品種の多くがこれらの病害に対して罹病性であることから抵抗性育種の必要性が大きい。炭疽病は *Colletotrichum theae-sinesis* 菌によって起こるチャの重要病害であるが、日本以外では台湾と中国で僅かに報告されているだけである(江塚・安藤 1994)。本病に対する抵抗性は、日本在来種では品種・系統間で明瞭に抵抗性の差異が認められているが、アッサム種や導入中国種には抵抗性を示す系統も多いことから(永田, 1954; 鳥屋尾ら, 1976)、抵抗性品種育成に対するこれら遺伝資源への期待は大きい。

一方、輪斑病は *Pestalotiopsis longiseta* 菌によって起こるチャの重要病害であり、抵抗性には著しい品種間差異が認められている(浜屋・堀川, 1982; 安藤ら, 1985a; 池田ら, 1986; 堀川, 1987d; TAKEDA, 1988a)。本病は木伏ら(1974)によって最初に報告された病害で、短期間のうちに炭疽病と並ぶ重要病害になった特異な病害である。特に、わが国のチャの主要品種である‘やぶきた’はこの輪斑病に罹病性であり、この‘やぶきた’を親として育成された多くの品種も罹病性品種が多いことから輪斑病抵抗性品種の育成はわが国の重要なチャの育種目標になっている(武田ら, 1996; 古野, 1996)。

そこで本研究では、チャ遺伝資源について炭疽病抵抗性および輪斑病抵抗性について変種間および変種内変異を明らかにするとともに、育種への利用を検討した。

最近、チャの新しい利用の可能性としてカテキン、カフェイン、アントシアニンなどの機能性成分が注目されている。特に、カテキンの機能性解明が進み、抗酸化作用(松崎・原, 1985; NAMIKI and OSAWA 1986)、抗菌作用(原ら, 1989b; SAKANAKA *et al.*, 1989)、抗突然変異作用(KADA *et al.*, 1985; JAIN *et al.*, 1989; 小島ら, 1989; YEN and CHEN, 1994)、抗腫瘍作用(OGUNI *et al.*, 1988; 原ら, 1989a)などが次々に明らかにされている。カテキンは茶の渋味成分であり、日本の煎茶ではこれが多いと渋味が強くなって品質が低下することから、煎茶の育種ではカテキン含有率の高い個体

は淘汰の対象になる。しかしながら、最近では茶は飲用だけでなく食材としての利用や健康食品としての利用が盛んになってきたことから、高カテキン品種についても需要が大きくなってきた。

茶に含まれる各種機能性成分はこれまで飲用一辺倒であった茶の利用を大幅に拡大させる可能性をもっていることから、本研究ではカテキン、カフェインなどの機能性成分を中心に成分育種におけるチャ遺伝資源の利用の可能性について検討した。

遺伝資源の持つ多様性を育種に利用していくためには、遺伝的多様性を明らかにする必要がある。そしてこの遺伝的多様性を効率的に利用していくためには対象形質の遺伝様式の解明が必要となる。チャは自家不和合性の永年生木本作物であるため、雑種性が強く、形質の遺伝解析には長年月を要する。このためこれまで遺伝様式の解析が行われた形質は極めて少なく、不発酵性(鳥屋尾, 1970)、白葉およびこうろ形質(鳥屋尾, 1979)、紅色花色(武田・根角, 1996)など著しい特徴を有する比較の実用性の低い遺伝形質に限られていた。

そこで、本研究では実用性が高く、品種間差異の著しい形質として *Pestalotiopsis longiseta* 菌によって起こるチャ輪斑病を取り上げ、抵抗性の遺伝様式を解明した。これによりチャ遺伝資源の輪斑病抵抗性についての遺伝子型の解析を行い、先に明らかにした表現型の解析と合わせて輪斑病抵抗性育種の理論的構築を行った。

本研究では、わが国チャ遺伝資源の多様性とその育種への利用について野菜茶業研究所(枕崎)のチャ遺伝資源を対象に各種形質の変異を明らかにし、分類学的な側面と利用の面から論議した。対象とした野菜茶業研究所(枕崎)の遺伝資源は、昭和初期にインドなどの海外から導入したアッサム種をはじめ、中国およびその他の国から導入した多くの海外遺伝資源を含んでいる。また、戦後組織的に行った日本在来種の収集や紅茶の指定試験時代に育成した多くのアッサム種と中国種の変種間雑種などもあり、世界に類を見ない多様なチャの遺伝資源を形成している。従って、ここで解析したチャ遺伝資源の変異とその多様性の実態はわが国のチャ遺伝資源にそのまま適用可能である。

本研究のとりまとめにあたって、筑波大学農林学系の生井兵治教授には懇切丁寧な御指導、御校閲ならびに暖かい激励を賜りました。ここに記して深甚なる謝意を表します。また、同農林学系横尾政雄教授、大澤良助教授ならびに同応用生物化学系久島繁教授には数多くの助言および懇切丁寧な御校閲を賜り、厚く御礼申し上げます。

また、本論文の作成に当たり心よく論文の使用を許可していただきました元野菜・茶業試験場・鳥屋尾忠之博士をはじめ安間舜氏、松下繁氏、家弓實行氏、和田光正氏および故築瀬好充氏には厚く御礼申しあげるとともに長い間の御指導に深く謝意を表します。共同研究者として多くの協力を頂きました根角厚司主任研究官、近藤貞昭室長（博士）、池田奈実子主任研究官（現野菜茶業研究所）および武弓利雄主任研究官（現農業生物資源研究所放射線育種場）につきましてもこの場を借りて御礼申し上げます。

II チャ遺伝資源の形態的形質の変異に関する解析

チャ (*Camellia sinensis* (L.) O. KUNTZE) は、半喬木性で葉が大きく耐寒性の弱いアッサム種 (var. *asamica*) と、灌木性で葉が小さく耐寒性の強い中国種 (var. *sinensis*) に大別される (北村, 1950; SEALY, 1958)。自然の分布域ではアッサム種が中国南部から雲南、タイ、ベトナムを経てインドに分布しているのに対し、中国種は長江 (揚子江) 以南から台湾、韓国、日本の西南部に分布している (SEALY, 1958)。この二つの変種間には開花期に多少のずれはあるが、交雑には特に支障がないことから生殖的隔離は認められていない (BEZBARUAH, 1977 a; 呉・徐, 1966; 鳥屋尾, 1988)。また、交雑後代においても不稔性等の障害もないことから、わが国では先述したように耐寒性のある紅茶用品種育成のために盛んに変種間交配が行われてきた (茶業試験場, 1963)。

この二変種間には、このような形態的あるいは生理・生態的に大きな違いが認められているが、生殖的隔離が認められないことからチャの起原については様々な議論があり、現在では var. *assamica* と var. *sinensis* は同一の起源をもち、その後周辺に伝播して現在のような変異が形成されたとする一元説が有力である (橋本・志村, 1978; HASHIMOTO, 1985; 呉, 1987; 鳥屋尾ら, 1988; 庄, 1992)。

チャは中国では紀元前 1000 年以上前から西南部一帯で利用されており、始めは薬用として、その後飲用として利用されるようになり民族の移動や交流によって周辺部に次第に広がっていったものと思われる (荘ら, 1986)。

チャはカフェインなどのプリンアルカロイドや (-) - エピガロカテキンガレート, (-) - エピカテキンガレートなどのエステル型カテキン, アミノ酸の一種で、茶のうま味に関与するテアニンなどチャ特有の成分を持って

いる (永田, 1986)。

このためチャは 3000 年以上前から人類に利用されてきており、他のカメリア属の種 (species) に比べて著しく分布範囲が広く、形質の変異も大きい (SEALY, 1958)。

このようにチャは大きな変異を含むことからチャを *Thea* 属として独立させた分類法も近年まで用いられていたが、現在では上述のような二変種に分類する方法が広く受け入れられている。これらの分類は形態的変異を中心に行われているため、チャ遺伝資源の形態的形質の評価と多様性の解明はチャの種内分類を検討する上で非常に重要である。

そこで、本章では分類上最も基本となる形態的形質として成葉の形質、新芽の毛茸形質および花器形質を取り上げ、変種間および変種内変異について解析した。

1 成葉形質の変異

チャの葉はアッサム種のような大型のものから中国種のような小型のものまで大きな変異が認められている。成葉の形質はチャの種内分類において重要な形質であり (北村, 1950; SEALY, 1958; 橋本・志村, 1978; 張, 1981; 関, 1998)、チャの品種識別にも欠かすことが出来ない (WICKRAMARATNE, 1981)。また、チャは葉を利用する作物であるため、チャの葉の大小は新芽の大小とも密接に関係し、収量との関連性も高いことが認められている (鳥屋尾, 1965)。

成葉の葉色も変異が大きい形質として分類指標の一つになっている。「植物遺伝資源特性調査マニュアル (5)」 (農業生物資源研究所, 1992) では、一次特性の必須形質になっているが、この形質は分類の指標としてこれまでほとんど検討されたことがない。

このようなことから本節ではチャ遺伝資源として保存されているアッサム種、中国種について成葉の諸形質とその変異を解析し、変種間および変種内の特性を明らかにするとともに分類指標としての有効性を検討した。

チャ遺伝資源にはアッサム種、中国種以外にもアッサム種と中国種の人為的交雑によって育成された多数の変種間雑種があり、わが国の紅茶用品種育成に大きく貢献した。本研究ではこれらの材料についても成葉の形態について調査を行い、これら変種間雑種に及ぼす両変種の影響について考察した。

a 材料および方法

1) 試験 1 【成葉の形質】

試験に供試した材料の来歴と系統数を表-1 に示した。

表-1 供試した遺伝資源の系統群とそれに属する系統数

系統群	原産国	試験1 (成葉の形態)	試験2 (成葉の葉色)
【アッサム種】 (var. <i>assamica</i>)		系統数	系統数
Ai	インド	27	33
Ak	インド	216	201
IND	インド	69	67
PKS	バングラディシュ	201	193
SRL	スリランカ	89	46
Shan	ベトナム	15	16
BUM	ミャンマー	7	7
Boh	マレーシア	13	13
台湾ヤマチャ	台湾	89	74
【中国種】 (var. <i>sinensis</i>)			
Cd	インド	214	201
Cm	中国	34	35
Cn	中国	102	105
Ck	中国	60	68
Cp	中国	27	32
Cy	中国	8	8
Ca	中国	7	7
Kor	韓国	20	—
日本在来種	日本	1,233	1,078
日本ヤマチャ	日本	243	123
【変種間雑種】			
A × C	人為交雑種	27	—
A × N	人為交雑種	66	—
(A × N) × A	人為交雑種	75	—
(A × N) × N	人為交雑種	137	—

来歴は附表1参照.

変種間雑種はアッサム種と中国種との雑種.

Aはアッサム種 (var. *assamica*), Cは中国導入種 (var. *sinensis*), Nは日本在来種 (var. *sinensis*) を表す.

春の新梢の生育が停止した6月下旬から7月上旬に各枝条中央部の標準的な成葉を10枚採取し、葉長、葉幅、先端長の程度を調査した。葉長、葉幅は実長とした。先端長は「植物遺伝資源特性調査マニュアル(5)」(農業生物資源研究所, 1992)の基準に従い、成葉の先端が丸く、先端長が全く認められない場合:「0」、先端長が短い:「3」、やや短い:「4」、中間:「5」、やや長い:「6」、長い:「7」、非常に長い:「8」とした。また、成葉の形状を示す指標として葉長/葉幅から葉型指数を求めた。

以上の調査結果をもとに変種間および遺伝資源の系統群ごとの変異の大きさについて検討した。

2) 試験2【成葉の葉色】

試験に供試した材料の来歴と系統数を表-1に示した。成葉の葉色は、春の新梢の生育が停止した6月下旬から7月上旬に各枝条中央部の標準的な成葉10枚を採取

し、色彩色差計(ミノルタCR-200型)で成葉の葉身中央部表面の色を測定した。測定は国際照明委員会(CIE)で推奨している $L^* a^* b^*$ 法によった。ここで L^* は明度を表わし、数値が大きいほど明度が高い。また、 a^* 値は(+)側では赤の程度、(-)側では緑の程度を表わし、 b^* 値は(+)側では黄の程度、(-)側では青の程度を表す。

葉色の解析には上記の基礎データをもとに彩度(C^*)($=\sqrt{(a^{*2} + b^{*2})}$)を求め、変種間および収集群間の比較を行った。また、明度(L^*)と彩度(C^*)をもとに変種間および各系統群間の比較検討を行った。

b 結果

1) 変種別にみた成葉の形態の変異

供試系統群ごとにみた葉長、葉幅、葉型指数および先端長の程度について表-2に示した。また、アッサム種

表-2 供試系統群の成葉形質の変異

系統群	系統数	葉長 (cm)	葉幅 (cm)	葉型指数	先端長の程度
【アッサム種】 (var. <i>assamica</i>)					
Ai	27	10.01±0.68	4.29±0.46	2.35±0.17	5.74±0.93
Ak	216	9.82±1.04	4.30±0.50	2.30±0.18	5.99±1.02
IND	69	8.70±0.95	3.83±0.50	2.29±0.16	6.12±0.97
PKS	201	9.42±1.00	4.19±0.44	2.26±0.17	5.72±0.96
SRL	89	10.85±1.23	4.63±0.65	2.36±0.17	6.04±0.98
Shan	15	11.54±1.23	5.29±0.63	2.19±0.15	6.07±1.00
BUM	7	11.04±0.98	4.85±0.26	2.27±0.14	5.29±0.49
Boh	13	10.69±1.24	4.63±0.61	2.32±0.13	5.46±0.95
台湾ヤマチャ	89	10.73±0.75	4.16±0.35	2.59±0.16	6.07±0.99
【中国種】 (var. <i>sinensis</i>)					
Cd	214	6.58±0.62	2.94±0.34	2.26±0.17	4.34±1.03
Cm	34	6.09±0.64	2.70±0.31	2.24±0.18	3.55±0.76
Cn	102	5.92±0.63	2.67±0.32	2.24±0.17	3.56±0.76
Ck	60	7.19±0.72	3.12±0.27	2.31±0.17	3.61±0.82
Cp	27	7.39±0.92	2.96±0.27	2.51±0.24	3.11±0.20
Cy	8	6.55±0.55	2.93±0.33	2.25±0.18	3.88±0.88
Ca	7	6.50±0.83	2.91±0.39	2.24±0.17	3.43±0.49
Kor	20	5.31±0.60	2.37±0.28	2.25±0.14	3.16±0.28
日本在来種種	1,230	6.10±0.65	2.68±0.29	2.28±0.06	3.02±0.24
日本ヤマチャ	241	6.55±0.68	2.87±0.17	2.29±0.05	2.50±0.89
【変種間雑種】					
A×C	27	7.83±0.81	3.45±0.36	2.29±0.14	5.15±0.57
A×N	66	8.01±0.77	3.46±0.31	2.32±0.15	5.39±0.70
(A×N)×A	75	8.71±0.88	3.67±0.27	2.36±0.15	5.28±0.57
(A×N)×N	137	8.10±0.73	3.35±0.31	2.42±0.16	4.42±0.71

葉型指数=葉長÷葉幅.

先端長の程度は、0は「なし」、3は「短い」、4は「やや短い」、5は「中間」、6は「やや長い」、7は「長い」、8は「非常に長い」.

と中国種に属する各系統の葉長と葉幅の散布図を図-1に示した.

アッサム種を系統群ごとに見た場合、葉長はインド原産のIND系統が8.70cmで最も小さく、ベトナム原産のShan系統が11.54cmで最大であった. アッサム種系統の葉長は10cm台を中心に7~16cm、葉幅は4.5~5cmを中心に3.5~6.5cmに分布した.

中国種に属する各系統群の平均葉長は、5.31~7.39cmの範囲に分布し、アッサム種よりも明瞭に小さかった. 中国種に属する系統は、葉長では6cmを中心に主に4~8cmに分布し、葉幅では3cmを中心に1.5~3.5cm付近に分布した. 中国種の中で最も葉長が大きかった収集群は中国浙江省産のCp系統群であり、次いで中国安徽省産のCk系統群であった. 反対に最も小さかったのは韓国のKor系統群で、日本の在来種もやや小さい方に属していた.

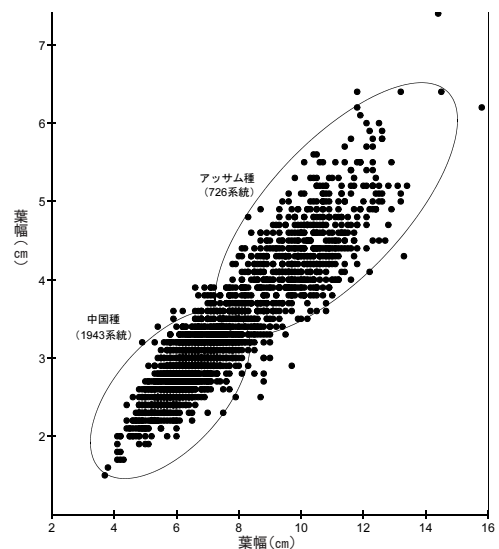


図-1 成葉の葉長、葉幅からみたアッサム種系統と中国種系統の分布

アッサム種の中で成葉が最大の系統はインド原産の系統‘Ak94’で、葉長×葉幅は15.8×6.2cm、次いでベトナム原産の‘Shan 5’で、葉長×葉幅は14.4×7.4cmであった。中国種の中では中国浙江省原産の‘鹿 Cp 1’が最も大きく、10.2×4.5cm、次いで安徽省原産の‘Ck16’の10.2×4.0cmであった。日本の在来種・ヤマチャでは京都の在来種、‘在 146-23’が10.1×4.0cmで最大であった。

成葉の葉長、葉幅についてアッサム種の小型の系統と中国種の大型の系統では多少散布図の上で重なるが、葉長では8cm付近、葉幅で3.5～4cm近辺を境界として、これよりも大きい方にアッサム種、小さい方に中国種が分類された(図-1)。

葉長/葉幅から求めた葉型指数はアッサム種と中国種では特に大きな差異は認められず、大体2.2～2.3前後であった。系統群ごとにみると、ベトナム原産のShanは葉長に対して葉幅の比率が大きく、葉型指数は2.19で最も小さかった。このためこの系統群の成葉はやや卵型をした大型の葉で先端長は比較的長い葉形を示した。一方、台湾ヤマチャのグループと中国浙江省原産のCp系統群は葉型指数が2.5を超え、やや細長い葉形であった。韓国のKor系統群は葉型指数が2.25で中国本土の多くの系統群や日本の在来種・ヤマチャと大きな違いはなかった。

アッサム種ではいずれの収集群も明瞭な先端長をもち、階級値6以上の「やや長い」先端長を有する系統が全体の48.5%を占めた。中国種では、先端長の程度が平均3.5前後であり、典型的な中国種の葉形は成葉の先端長が「短い」階級値のものが多かった。中国種に分類される収集群の中でインドのダージリンから導入したCd系統は平均的な中国種よりもやや長い先端長を持ち、その平均値は4.34で、先端長が5以上の系統が全体の46.7%を占めた。

一方、日本の在来種・ヤマチャでは明瞭な先端長を持たない系統もあり、先端長の長さは一般的に小さく、葉型指数も2.28前後で全体にやや丸形を帯びた葉形のものがあった。

アッサム種(略号A)と中国本土から導入した中国種(略号C)あるいは日本在来種(略号N)との変種間雑種(A×C, A×N)では、葉長、葉幅形質は両変種の間を示した。また、先端長の程度は、5.15～5.39で「中」から「やや長い」先端長を持つ系統が多く、アッサム種に近い形態をしていた。この変種間雑種(A×N)にアッサム種(A)を戻し交配した系統、すなわち(A×N)×Aでは、葉長、葉幅は(A×N)の変種間雑種

よりも大きくなり、反対に日本在来種(N)を戻し交配した場合、すなわち(A×N)×Nでは、親となった変種間雑種とほぼ同程度の大きさであった。先端長は、(A×N)×Aは5.28で親となった変種間雑種と同程度であったが、(A×N)×Nのように日本在来種を戻し交配した場合には明瞭に先端長が短くなる傾向が認められた。

2) わが国在来種・ヤマチャの成葉形質の地理的変異

日本在来種・ヤマチャについて府県別にみた成葉形質の結果を表-3に、地域別にみた葉長の頻度分布を図-2に示した。

成葉の大きさを表す葉長、葉幅は東北、北陸の秋田、新潟、福井の各県から収集した材料が一般に小さく、三重、京都、滋賀など近畿地方の材料で大きい傾向が見られた。関東、東海は材料は葉長が4cm台の小さいものから7.5cm前後のものまで比較的分布域が広く、九州の材料も比較の変異が大きかったが、四国の材料は6cm台を中心に比較的分布域が狭く、中国地方の材料は5～6cm台が中心で最も分布域が狭かった(図-2)。九州、四国から収集したヤマチャについて同一県内の在来種と比較してみると、長崎県を除けばヤマチャの方が葉長、葉幅、先端長がやや小さい傾向が認められた。

府県別にみた葉型指数の変異は非常に小さく、大体2.2～2.3程度であったが、先端長の程度は静岡、三重、奈良、滋賀、京都など東海から近畿地方の材料がやや先端長が短い傾向が認められた。

在来種から選抜された‘やぶきた’の葉長は大体8.5cm前後であるが、これよりも葉長の長いものを在来種の中から求めると、近畿圏と一部九州の材料に限定され、その他の地域から‘やぶきた’に匹敵する大きさの成葉を持つ系統を見つけ出すことは困難であった。このことから在来種から選抜された‘やぶきた’は在来種の中ではかなり大型の成葉を持つ品種であることが明らかになった。

3) 成葉葉色の特性によるチャの分類

収集群別にみた遺伝資源の成葉葉色の測色値および成葉葉色の色調を表-4と図-3に示した。

チャの成葉の色は、基本的には緑(a*値が一側の値をとる)と黄(b*値が+側の値をとる)によって構成され、それに明るさ(L*値)が加味された結果である。成葉の葉色はアッサム種と中国種でそれぞれ特徴が認められた。アッサム種は中国種に比べて明度(L*値)が

低く、しかも緑と黄の程度も小さい。成葉の緑と黄の相対比をみるため b^*/a^* を求めると、アッサム種は収集群を異にしてもいずれも-1.1台であったのに対し、中国種はいずれも-1.3台であったことから中国種はアッサム種に比べてやや黄みが優っていた。

明るさを表す明度 (L^*) と色の鮮やかさを表す彩度 (C^*) ($=\sqrt{(a^{*2}+b^{*2})}$) をそれぞれ縦軸、横軸にとって収集群ごとの色調 ($=\sqrt{(L^{*2}+C^{*2})}$) を比較すると、3つのグループに大別された (図-3)。

中国種は中国大陸の材料、インドのダージリンの Cd 系統群、日本の在来種・ヤマチャなどを含んでおり収集地域は大きく異なっていたが、1つのまとまったグループを形成した。これらのグループはアッサム種に比較して明度および彩度が高いため明るく、冴えた色調を示し

た。アッサム種の中では、インドのダージリンから導入した Ak 系統群が特に葉色が暗く、光沢が少ないために暗緑色で冴えがなく、ミャンマーの材料 (BUM) とともに平均的なアッサム種のグループからやや離れていた。また、南インドから導入した IND 系統は色調がやや中国種に近かった。この系統群に属する材料は葉が比較的小さく、耐凍性も強いことから中国種の影響を受けていることが推察された。台湾ヤマチャは明度、彩度ともアッサム種の中では高く、明るい色調を示し、平均的なアッサム種からはやははずれていた。

以上の結果から成葉葉色は収集群間で変異があり、また、アッサム種と中国種を分類する指標として利用出来ることが分かった。

表-3 日本在来種とヤマチャの成葉形質の変異

県名	収集茶園数	系統数	葉長 (cm)	葉幅 (cm)	葉型指数	先端長の程度
秋田	1	4	4.80±0.60	2.13±0.20	2.24±0.07	3.00±0
新潟	2	24	4.03±0.58	1.84±0.25	2.24±0.09	2.47±1.32
福井	3	36	5.02±0.50	2.21±0.31	2.36±0.13	4.60±0.59
茨城	3	14	4.93±0.40	2.08±0.26	2.39±0.17	3.17±0.28
埼玉	9	65	5.66±0.59	2.49±0.23	2.28±0.17	3.23±0.62
静岡	9	32	5.79±1.03	2.58±0.43	2.24±0.14	3.00±0
三重	11	79	6.88±0.69	3.01±0.33	2.28±0.24	2.96±0.37
奈良	7	119	6.64±0.67	2.86±0.32	2.32±0.15	2.85±0.29
滋賀	5	79	6.95±0.63	3.03±0.28	2.29±0.16	2.96±0.12
京都	12	221	7.41±0.73	3.20±0.34	2.33±0.16	2.93±0.31
兵庫	5	16	5.55±0.37	2.52±0.22	2.20±0.18	3.00±0
広島	2	6	6.02±0.33	2.76±0.20	2.18±0.05	3.00±0
島根	3	13	6.05±0.54	2.70±0.19	2.25±0.09	3.00±0
岡山	1	5	5.33±0.75	2.23±0.30	2.39±0	3.00±0
愛媛	3	54	6.16±0.42	2.60±0.17	2.36±0.15	3.24±0.40
高知	7	109	6.77±0.50	3.02±0.27	2.26±0.14	3.16±0.27
徳島	3	89	6.48±0.44	2.80±0.89	2.37±0.17	3.02±0.04
福岡	6	121	6.90±0.56	3.04±0.30	2.30±0.14	2.98±0.10
佐賀	7	46	6.23±0.53	2.76±0.22	2.25±0.13	3.05±0.09
長崎	2	29	6.04±0.52	2.81±0.25	2.15±0.15	3.29±0.45
熊本	1	13	6.49±0.33	2.96±0.30	2.20±0.15	4.00±0.33
宮崎	4	11	6.55±0.63	2.94±0.29	2.22±0.16	3.03±0.18
鹿児島	5	45	6.17±0.49	2.72±0.27	2.26±0.16	3.11±0.29
高知*	6	61	6.48±0.53	2.80±0.23	2.31±0.21	2.70±0.72
福岡*	8	43	6.01±0.38	2.57±0.45	2.38±0.20	2.13±1.24
長崎*	1	11	6.81±0.33	3.00±0.21	2.28±0.11	2.65±0.66
大分*	10	32	6.29±0.54	2.80±0.32	2.25±0.17	1.80±1.44
熊本*	11	29	6.47±0.61	2.76±0.31	2.35±0.09	3.08±0.14
宮崎*	14	65	6.52±0.61	2.84±0.31	2.31±0.16	2.70±0.54
やぶきた (参考)		10	8.89±0.25	3.68±0.18	2.42±0.12	3.30±0.42

* ヤマチャ

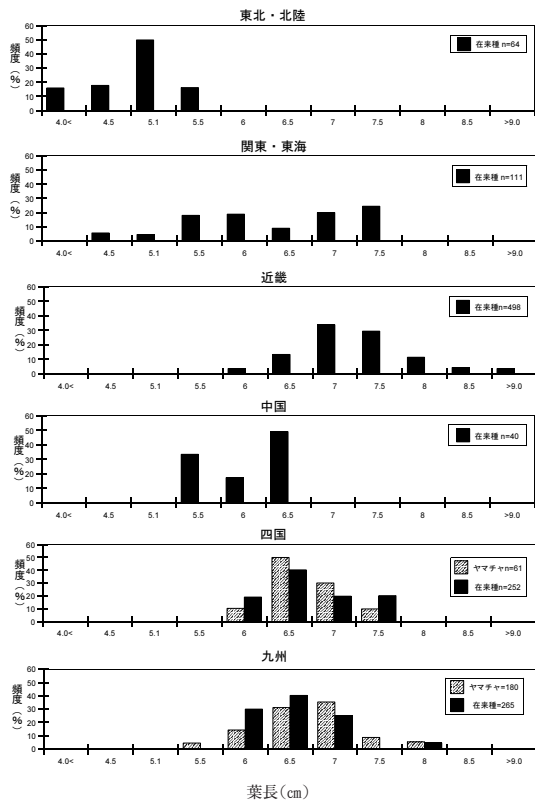


図-2 日本在来種とヤマチャの葉長の地理的変異

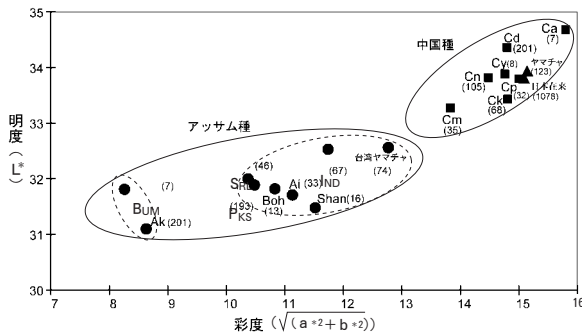


図-3 収集群別にみた成葉葉色の色調

- 印はアッサム種, ■は導入中国種,
- ▲は日本在来種とヤマチャを示す。
- ()内は系統数。

c 考察

チャの成葉の大きさ、色によってアッサム種と中国種が分類できた。成葉の大きさでは、図-1に見られるように中国種からアッサム種へと比較的連続的な変異で大きくなるのが観察されたが、葉長では8 cm前後、葉幅では3.5~4.0 cmを境界としてこれよりも小さいものが主に中国種、大きいものがアッサム種に分類された。アッサム種として扱ったIND系統群は1964年に南インドで種子を収集し、日本に持ち帰って育成した集団であるが

(塘, 1967), 葉長、葉幅が他のアッサム種の系統群に比べてやや短く、成葉葉色を明度と彩度から分類した図-3においても平均的なアッサム種からやや距離を置いていたことから、中国種の影響を受けている可能性が認められた。しかしながら、成葉の先端長の程度では比較的長い先端長を持ち、アッサム種の特徴を示していた。これは本試験で調査したアッサム種×日本在来種の交雑後代でも先端長はアッサム種の特徴が強く出ることから、IND系統群が中国種の影響を受けていることを否定するものではないと思われる。

本試験で供試した台湾ヤマチャの集団は台湾南部の高雄県六龟 (Liukuei) 付近の山中に自生する茶樹から採種し、育成した系統である。台湾には中・南部の海拔650~1500 mの山中にこのような野生のチャがあり、代表的な産地として眉原山 (Mt. Meiyuan), 蓮華池 (Lienhuachih), 魚池 (Yuchih), 水社大山 (Mt. Shuishete) などがあげられる。これらのヤマチャは同じ地域のものは成葉の形態が非常によく似ているが、分布域の異なるヤマチャ間では幾分変異があることが認められている (橋本, 1970; 何・王, 1984; 王ら, 1990)。橋本 (1970) は、成葉の長さ、幅、葉脈数、鋸歯などについて台湾ヤマチャの産地間で非常に高い相関があることから互いに高い近縁関係にあり、アッサム種のShan系統群とも相関が高いことを指摘している。これらの台湾ヤマチャは半喬木性で成葉が大きく、耐寒性も弱いことから台湾でもアッサム種に分類されている (王ら, 1990)。本試験でも台湾ヤマチャは成葉の大きさ、形ではアッサム種の範疇に入ったが、成葉の葉色はアッサム種としては明るく、平均的なアッサム種とはやや離れていた。

中国種では、中国浙江省原産のCp系統群、安徽省原産のCk系統群は葉長が長く、平均7 cmを超え、中国種の中ではやや大型の成葉であったが、先端長が他の中国導入種と大きな違いがなかったことからアッサム種の影響は認められなかった。橋本・小川 (1980) は中国長江流域の茶樹の成葉の比較から、浙江省の茶樹は小葉型、江西省の茶樹は中葉型、広東省の茶樹は一般的に葉が大きい傾向があることを指摘している。一方、台湾には台湾ヤマチャの集団のほかに小葉系の中国種があり、一般的な中国種よりも葉が大きいことが報告されている。これらの茶樹は中国福建省あるいは広東省からの移民等によって主に導入されたが、中国南部の比較的葉の大きい系統 (祁門種など) が持ち込まれた可能性が高く、それらとの類似性が認められている (讚井, 1953)。

韓国のチャは隣接した中国から9世紀始めに導入され、

現在でも寺院を中心に古い茶園が残っている（森田ら，1996；HYOUNG-KOOG，2000）．韓国のチャはその来歴をみると非常に早い時代に中国から導入されたものと朝鮮戦争後に日本から導入されたものがある（森田ら，1996）．本試験で扱った材料では成葉がやや小さかったが，葉型指数からみた葉形は日本の在来種と大きな差異は認められなかった．一方，池田・根角（1998）は，韓国には葉型指数 2.6～2.9 の細長い成葉をもつ個体も多く，日本の在来種よりも変異が大きいことを指摘している．

中国種として扱われている Cd 系統群はインドのダーズリンから導入された小葉系の一群であるが，先端長の程度が 4.34 と他の中国種に比べると 1 ポイント程度大きかった．本試験でアッサム種と中国種の F₁ 雑種に中

国種を戻し交雑した場合，先端長の程度は平均 4.42 でほぼ Cd 系統群のそれと同程度であった．このため Cd 系統群はアッサム種の影響を受けていることが示唆された．インドのチャの栽培の歴史をみると，1830 年代以降に中国から中国種が導入されて栽培されるようになった（志村，1968；松下，1999）．これらの茶樹は中国南部の港から種子を海路インドまで運んで導入されたものであるが，その後導入されたアッサム種などと交雑し，比較的高地で寒さが強いダーズリンでは低温に抵抗性を持った小葉系の個体が栽培上有利であったことから残った可能性が考えられる．

成葉の葉色から見ると，インドの Ak 系統群とミャンマーの BUM 系統群に特徴が見られた．この 2 つの収集

表-4 チャ遺伝資源の収集群別にみた成葉葉色の測色値

原産国・系統群	系統数	L*	a*	b*	b*/a*	C*
【アッサム種】 (var. <i>assamica</i>)						
インド						
Ai	33	31.71	-7.44	8.51	-1.11	11.30
Ak	201	31.10	-5.79	6.39	-1.10	8.62
IND	67	32.53	-7.43	9.08	-1.21	11.73
スリランカ						
SRL	46	32.00	-6.65	7.97	-1.20	10.38
バングラディッシュ						
PKS	193	31.89	-6.71	8.04	-1.19	10.47
ベトナム						
Shan	16	31.48	-7.66	8.61	-1.12	11.52
ミャンマー						
BUM	7	31.81	-5.33	6.30	-1.19	8.25
マレーシア						
Boh	13	31.82	-7.16	8.11	-1.12	10.82
台湾						
タイワンヤマチャ	74	32.56	-8.34	9.68	-1.15	12.78
【中国種】 (var. <i>sinensis</i>)						
インド						
Cd	201	34.36	-8.73	11.95	-1.37	14.80
中国						
Ca	7	34.68	-9.39	12.71	-1.35	15.80
Ck	68	33.43	-8.86	11.87	-1.34	14.81
Cm	35	33.27	-8.33	11.04	-1.33	13.83
Cn	105	33.82	-8.68	11.59	-1.34	14.48
Cp	32	33.80	-8.97	12.06	-1.34	15.03
Cy	8	33.88	-8.82	11.83	-1.34	14.76
日本						
在来種	1,078	33.94	-9.00	12.18	-1.35	15.14
ヤマチャ	123	33.82	-8.71	12.32	-1.41	15.09

L*は明度.

a*は+側では赤の程度，-側では緑の程度を表す.

b*は+側では黄の程度，-側では青の程度を表す.

C* (= $\sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$) は彩度.

群は葉が大きく、形態的にはアッサム種の特徴を有していたが、色調 ($\sqrt{(\text{明度}^2 + \text{彩度}^2)}$) が劣り、やや黒みを帯びた暗緑色を呈していた。BUM系統は新葉が赤みを帯びるが、成葉になると緑色が増してそれがマスクされるためにこのような色調になることが考えられた。

肉眼調査による葉色と葉緑素計での測定値の比較を行った池田・根角 (1999 a) の試験では、葉色が緑黄、黄緑、緑、濃緑の順にクロロフィル含量が高くなることが認められている。供試した Ak 系統群は新芽にアントシアニンが現れることもないことから、クロロフィル含量が高いことが考えられた。

アッサム種と中国種の変種間交雑では生殖的隔離がなく交雑は自由にできることから、わが国では耐寒性のある優良な紅茶用品種育成のためにアッサム種 (var. *assamica*) とわが国の在来種 (var. *sinensis*) との間に多くの変種間雑種を育成してきた。これら雑種の葉長、葉幅はアッサム種と中国種の間位置したが、これらの雑種をさらにアッサム種あるいは中国種に戻し交雑すると前者はアッサム種に近づき、後者は中国種に近くなる。このような現象は耐凍性の場合でも認められており、成葉のこれらの形質の遺伝力は耐凍性の遺伝力 (TOYAO, 1982) と同様にかなり高いことが推定された。

日本在来種とヤマチャの比較では、長崎県を除けば日本在来種の方がわずかに成葉が大きい傾向が認められたがその差は小さいものであった。これについて長崎県のヤマチャは収集地点が1カ所であったため成葉の大きなグループが収集された可能性も考えられる。

先端長の程度では、日本在来種とヤマチャは中国種の中でも小さいグループに含まれた。特に、ヤマチャでは先端長のとがりがない系統の割合が高く、在来種よりも先端が丸くなっている系統が多かった。

京都の在来種は一般的に「宇治種」と呼ばれ、日本の各地に運ばれて各地方の在来種形成に大きな役割を果たしたが、「宇治種」の特徴として一般的に丸葉のものが多く指摘されている (荻ら, 1995)。これらの「宇治種」も導入された地方の気象条件等の影響によりそれぞれの生態型に分化しているのが認められた。例えば、青森県、秋田県、福井県などの在来種はいわゆる「ピンカ種」と呼ばれ葉が小さく、樹形も小型である (鳥屋尾ら, 1996)。本試験でもこれらの地方の材料は、葉長では 4.3 ~ 5.0cm、葉幅では 1.8 ~ 2.2cm と小さかった。このような地理的変異は冬期の寒さ、風あるいは積雪量との因果関係が推定される。これらの地域への「宇治種」の導入は、秋田県では 1700 年代初めに (大石, 1983)、

新潟県では 1620 年代とされている (川崎, 1917)。従ってこれらの地域では導入後およそ 200 ~ 300 年の間に厳しい淘汰を受け、その結果冬期に雪の下にあって耐えうる樹型や葉形の小さい生態系が成立したものと考えられる。

以上の結果、わが国のチャ遺伝資源は成葉の形質を指標として見ると非常に大きな変異を持った集団であることが明らかになった。成葉形質では葉長、葉幅、先端長、葉色がアッサム種と中国種を分類する指標として有効であった。また、各形質の変異では、アッサム種の方が中国種よりも大きかった。

わが国の在来種とヤマチャは同一県内で比較した場合、成葉の形質では特に大きな違いは認められなかったが、在来種は分布している地域により成葉の大きさにかんりの変異が認められた。これは分布地域の環境条件と密接に結びついて生態型を分化させたものと考えられた。

2 新葉毛茸の分布特性の変異とその類型化

チャの特性分類あるいは品種識別形質は「茶種苗特性分類調査報告書」(農林水産技術情報協会, 1981) および「植物遺伝資源特性調査マニュアル (5)」(農業生物資源研究所, 1992) の中に多くの特性があげられており、チャの新葉裏面の毛茸形質もその一つである。チャの新葉の裏面に生えている毛茸は呉 (1964)、AMMA (1986) によって品種・系統に特徴があり、識別に利用できることが明らかにされているが、大きな変異を含んだ多数の材料についてチャの毛茸を体系的に論議した報告は見当たらない。

チャの重要病害である炭疽病は、始めに分生子が新葉の毛茸に付着して発芽し、毛茸基部から侵入することが知られている (浜屋, 1982)。このため、突然変異により毛茸を無くした‘やぶきた’は炭疽病に対して抵抗性が高くなることから、毛茸は実用形質としても重要である (武田ら, 1991)。

そこで新葉毛茸の分布密度、長さ、太さなどの諸特性を調査し、それをもとにチャ遺伝資源の変種間および収集群間の毛茸特性を解析した。また、新葉毛茸特性をチャの分類の指標にするために、チャの毛茸特性の類型化を試みた。

a 材料および方法

材料は日本国内の在来種・ヤマチャおよび世界の主要な茶産地から種子で導入し、系統として育成、保存しているチャ遺伝資源を供試した。このうちアッサム種に分類される系統は 714、中国種に分類される系統は 1,732、

合計 2,446 系統である。アッサム種に属する系統群は、Ai (33 系統), Ak (229 系統), IND (69 系統) (以上インド), PKS (206 系統) (バングラディッシュ), SRL (49 系統) (スリランカ), Shan (15 系統) (ベトナム), BUM (7 系統) (ミャンマー), Boh (12 系統) (マレーシア), Aj (6 系統) (インドネシア), 台湾ヤマチャ (75 系統) (台湾) およびその他 (13 系統) である。中国種に属する系統群は Cd (221 系統) (インド), Cm (42 系統), Cn (111 系統), Ck (72 系統), Cp (32 系統) (以上中国), Kor (13 系統) (韓国) および日本在来種・ヤマチャ (1,241 系統) である。

調査形質は新葉裏面の毛茸の太さ, 長さ, 分布の仕方および毛茸密度の 4 形質であり, それぞれ次の基準で調査した。

太さ; 1 (細い), 2 (中間), 3 (太い)

長さ; 1 (短い), 2 (中間), 3 (長い)

分布の仕方; 1 (毛茸なし), 2 (中肋のみ分布), 3 (中肋とその周辺に分布), 4 (葉の内側半分に分布), 5 (全面に分布)

密度; 1 (低い), 2 (中間), 3 (高い)

茶葉の毛茸は中肋と中肋以外の葉身部分では多少異なり, 中肋部分の毛茸は葉身の毛茸に比べてやや短く, 密度も低い傾向にある。このためここでは毛茸の太さ, 長さは葉身の毛茸を主体に観察したが, 一部中肋の毛茸も参考にした。

毛茸の調査は主に 5 月の一番茶の新芽を観察したが, 一部の系統は 6 月上旬の二番茶芽, 7 月中旬の三番茶芽でも観察した。調査は原則として 1 系統当たり 3 ~ 5 芽を一芯三葉で採取し, 最上部の展開葉あるいは半展開葉を実体顕微鏡で観察したが, 未展開の新芽および展開第 2 葉についても参考にした。

b 結果

1) 毛茸の太さおよび長さ

変種ごとにみた毛茸の太さ別の系統数を表-5 に示した。

中国種についてみると, 日本在来種では, 毛茸の太さが中間の系統が最も多く, 77.5% を占め, 次に太い系統 (18.0%) が多く, 細い系統はごく少数 (4.5%) であった。中国種の中から日本の在来種とヤマチャを除いた中国種 (導入中国種) も日本在来種と同様の傾向を示し, 中間の太さの系統が 79.6% で最も多く, これを中心に主に太い方向に分布しており, 細い系統は 2% (10 系統) に過ぎなかった。アッサム種では中間の太さの系統が 59.9% (383 系統) で最も多く, 次に細い系統が 36.9% (236 系

統) を占め, 太い系統は 3.2% と少数であった。このことからアッサム種では毛茸の太さの分布が主に中間から細い方向に分布しており, 中国種とは逆の傾向が認められた。

毛茸の長さによってチャの系統を分級した結果を表-6 に示した。

日本在来種では毛茸の長い系統が大多数の 98.7% を占め, 中間の長さはわずかに 16 系統 (1.3%) と少なく, 毛茸の短い系統は全く観察されなかった。導入中国種も日本在来種と同様の傾向を示し, 毛茸の長い系統が 86.3% を占めたが, 日本在来種では全く見られなかった毛茸の短い系統も 14 系統 (2.9%) 認められ, 日本在来種よりやや変異が大きかった。

アッサム種は中国種とは反対に毛茸が短い系統が 43.9%, 中間の系統が 40.4% を占め, 毛茸の長い系統は 15.7% と少なく, 日本在来種, 導入中国種などの中国種とは著しい相違が見られた。

2) 毛茸の分布型と密度

毛茸の分布の仕方により 5 つの分布型に分け, その頻度を表-7 に示した。

分類された毛茸の 5 つの分布型は, 1) 全くの無毛茸 (無毛茸型), 2) 中肋のみに分布 (中肋分布型), 3) 中肋とその周辺に限定して分布 (中肋周辺分布型), 4) 中肋を挟んで葉面の内側に分布 (葉面内側分布型), 5) 葉面全体に分布 (全面分布型) である。

日本在来種は調査した 1,241 系統中の 2 系統 (在 147-23, 在 147-24) を除けば全て全面分布型に属しており, 毛茸分布型は日本在来種の系統間で全く変異が見られなかった。導入中国種も葉面全体に分布する全面分布型が 87.0% を占めたが, 葉面内側分布型も 12.8% 認められるなど, 日本在来種よりやや変異が大きかった。

アッサム種は無毛茸型から全面分布型まで非常に変異に富んでいた。特に, 過半数の 53.7% の系統は葉面内側分布型に属し, 中国種とは著しく傾向が異なっていた。また, アッサム種の中には無毛茸型が 75 系統認められたが, このうち 73 系統は台湾から導入した台湾ヤマチャであり, このグループはすべて無毛茸であった。

毛茸分布は毛茸密度と関連が深く, 全面に分布している系統は密度が高く, 中肋あるいは中肋周辺に分布が限定される系統は毛茸密度が低い傾向が認められた。しかし, 毛茸が葉の内側に分布し, 周縁部にはほとんど分布しない系統では, 毛茸密度は低いものから高いものまで幅広い変異が認められた。

供試系統の毛茸密度を 4 段階に分級し表-8 に示した。

表-5 毛茸の太さによる分別

分類	毛茸の太さ			系統数
	細い	中間	太い	
【var. <i>sinensis</i>】				
中国種	66 (3.8)	1,351 (78.0)	314 (18.2)	1,731
日本在来種	56 (4.5)	961 (77.5)	224 (18.0)	1,241
導入中国種	10 (2.0)	390 (79.6)	90 (18.4)	490
【var. <i>assamica</i>】				
アッサム種	236 (36.9)	383 (59.9)	20 (3.2)	639

葉身部分に毛茸がない系統は除外した。
 毛茸基部の太さ；細い (<20 μ)，中間 (20~40 μ)，太い (>40 μ)。
 () 内は全体に占める割合 (%)。
 導入中国種は中国本土とインド・ダージリンの小葉種。

表-6 毛茸の長さによる分別

分類	毛茸の長さ			系統数
	短い	中間	長い	
【var. <i>sinensis</i>】				
中国種	14 (0.8)	69 (4.0)	1,648 (95.2)	1,731
日本在来種	0 (0)	16 (1.3)	1,225 (98.7)	1,241
導入中国種	14 (2.9)	53 (10.8)	423 (86.3)	490
【var. <i>assamica</i>】				
アッサム種	263 (43.9)	242 (40.4)	94 (15.7)	599

葉身部分に毛茸のない系統は除外した。
 毛茸の長さ；短 (<400 μ)，中 (400~800 μ)，長 (>800 μ)。
 () 内は全体に対する割合。

表-7 毛茸の分布

分類	毛茸の分布					系統数
	無毛茸	中肋のみ	中肋周辺	葉面内側	全面	
【var. <i>sinensis</i>】						
中国種	0 (0)	1 (0.1)	0 (0)	65 (3.7)	1,666 (96.2)	1,732
日本在来種	0 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (0.2)	1,239 (99.8)	1,241
導入中国種	0 (0)	1 (0.2)	0 (0)	63 (12.8)	427 (87.0)	491
【var. <i>assamica</i>】						
アッサム種	75 (10.5)	40 (5.6)	63 (8.8)	383 (53.7)	153 (21.4)	714

() 内は全体に対する割合。

表-8 毛茸密度による分別

分類	毛茸密度				系統数
	無	低	中	高	
【var. <i>sinensis</i>】					
日本在来種	0	0	26	1,215	1,241
	0	(0)	(2.1)	(97.9)	
導入中国種	1	19	88	383	491
	(0.2)	(3.9)	(17.9)	(78.0)	
【var. <i>assamica</i>】					
アッサム種	115	251	205	143	714
	(16.1)	(35.2)	(28.7)	(20.0)	

密度は葉身の毛茸密度を表す。

毛茸密度無の階級には無毛茸系統と中肋のみに毛茸が分布する系統が含まれる。

毛茸の密度 (本/mm²) ; 低 (<5), 中 (5~10), 高 (>10).

() 内は全体に対する割合。

日本在来種では97.9%に当たる1,215系統は毛茸が密に分布し、中程度の密度を示す系統はわずか2%で、低密度と無毛茸系統は全く認められなかった。導入中国種も日本在来種と同様の傾向を示したが、中程度の毛茸密度を示す系統が17.9%、密度が低い、すなわち粗に分布している系統が3.9%認められるなど日本在来種よりやや変異が大きかった。

アッサム種は日本在来種および導入中国種とは異なり、毛茸密度が高い系統が20.0%と低く、逆に密度の低い系統が35.2%を占め、葉身に毛茸を欠く系統(無毛茸系統と中肋のみに毛茸がある系統)も115系統(16.1%)観察された。

3) チャ遺伝資源の毛茸特性

変種間の毛茸特性を毛茸の分布、毛茸の長さおよび密度の3形質について表-9にまとめた。

日本在来種は一般に毛茸の諸形質において変異がきわめて小さく、大部分の系統は、長い毛茸が全面に、しかも高密度に分布していた。導入中国種も日本在来種と同様であったが、その他に長い毛茸が中程度の密度で全面に分布している系統、あるいは長い毛茸が中程度の密度で葉の内側だけに分布している系統など日本在来種には見られないような特性を持つ系統もあった。

一方、アッサム種は、毛茸の分布では無毛茸から全面に分布する系統まで多様な分布型が見られた。また、毛茸の長さでは、中間あるいは短い系統が多く、毛茸密度では、中間~低い系統が多いなどの特徴があり、中国種に比べて毛茸の各形質で変異が大きかった。アッサム種で最も多く見られる特性は、毛茸が短く、葉の内側だけに粗く分布する型であった。また、特異なものとして台湾ヤマチャのグループがあり、前述したようにすべて

全くの無毛茸であった。

今回調査した導入中国種は、収集地域により大きく分けると、中国本土(大陸)の材料とインドのダージリンの材料である。そこで、収集国別に導入中国種の毛茸特性を表-10にまとめた。その結果、毛茸が短い、密度が低い、あるいは中肋付近や葉の内側だけに分布するなどアッサム種に多く見られる特性を持つ系統がインドのダージリンの中に多数認められた(表-10)。このことからインドのダージリン系統は前節の成葉の形質でも認められたようにアッサム種の影響を受けていると考えられた。導入中国種の中からインドのダージリン系統を除くと、変異は非常に小さくなり、中国本土から導入した中国種は日本在来種と毛茸特性が非常に類似していることがわかった。

4) 毛茸の分類型別にみたチャ遺伝資源の特徴

毛茸の長さ、密度および分布をもとにこれまでの観察結果から23の毛茸基本分類型を作成し、図-4に示した。

調査したチャ遺伝資源2,446系統の毛茸特性についてデータベースを構築し、アッサム種、中国種の変種間および系統群ごとの分類型について表-11、表-12にまとめた。

23の分類型中21で該当する系統があったが、2つの分類型、すなわち、II-4型(毛茸が中肋とその周辺に分布し、毛茸が長く、密度が低い)、IV-7型(毛茸が全面に分布し、毛茸が長く、密度が低い)では該当する系統がなかった。

日本在来種はIV-9型(長い毛茸が高密度で全面分布)が1,241系統中1,212系統(97.7%)を占め、非常に変異の幅が小さかった。導入中国種はIV-9型の他に、IV-8型(全面分布、長さ長、密度中)、III-8型(葉面内側分布、長さ長、密度中)、IV-5型(全面分布、長さ

表-9 チャの分類上からみた毛茸特性

分類	分布	長さ	密度	変異
【var. <i>sinensis</i>】				
日本在来種	全面分布.	800 μ 以上の長い毛茸を有する.	10本以上/ mm^2 の毛茸があり, 密生する.	小
導入中国種	多くは全面分布. 内側のみの分布も見られる.	多くは800 μ 以上の長い毛茸を有する.	多くは10本以上/ mm^2 の毛茸があり, 密生する.	中
【var. <i>assamica</i>】				
アッサム種	無毛茸から全面分布までである. 内側のみの分布が多い.	多くは400~800 μ 以下の中・短の毛茸を持つ.	毛茸が密生するタイプは少なく, 大部分は10本/ mm^2 以下の中・低密度. 無毛茸系統もある.	大

表-10 中国種 (var. *sinensis*) の毛茸特性

原産国	長さ			密度			分布		
	短	中	長	低	中	高	中肋	内側のみ	全面
中国本土	0	29	241	3	38	229	0	14	256
インド (ダーズリン)	14	24	182	16	50	154	1	49	171
日本	0	16	1,225	0	26	1,215	0	1	1,240

毛茸の長さ, 密度は葉身部分に毛茸が分布する系統について調査.

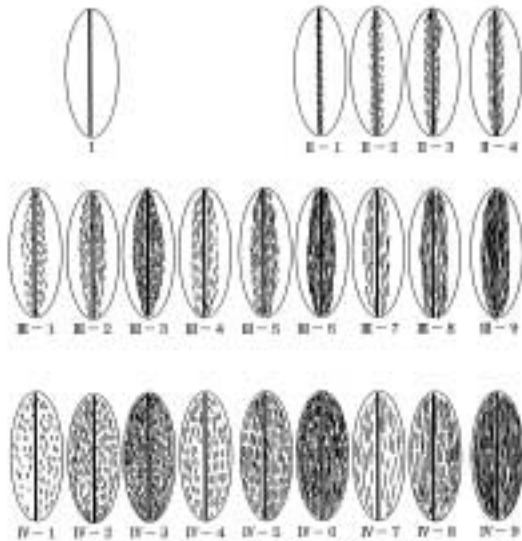


図-4 チャの新葉毛茸の基本分布型 (毛茸の長さ, 密度, 分布による分類)

中, 密度中), IV-6型 (全面分布, 長さ中, 密度高)が多かった (表-11). 収集地別にみた場合, インドのダーズリンから収集したCd系統群は中国大陸の材料に比べて毛茸の分類型が多型を示し, 変異が大きいことが認められた (表-12).

アッサム種は多くの分類型にわたって分布していたが, 中でもIII-1型, すなわち毛茸が葉の内側だけに分布し, 短い毛茸で低密度の系統が最も多く, 次いでIII-5型 (内側のみに分布, 長さ中, 密度中), III-4型 (内側の

みに分布, 長さ中, 密度低), III-2型 (内側のみに分布, 長さ短, 密度中)などに属する系統も多かった. 系統群間で調査系統数が異なるので正確な比較はできないが, インドから収集したAk, IND, バングラディッシュのPKSなどの系統群では多様な分類型が見られたのに対し, インドネシアのAj, マレーシアのBoh, ミャンマーのBUM系統群ではやや変異が小さかった. また, 特異な集団としてI型 (無毛茸)の台湾ヤマチャの系統群が特筆される.

c 考察

チャの新葉裏面に着生する毛茸は表皮細胞が変化した単細胞の毛状体である (呉, 1964). この毛茸は葉の生長に伴って次第に脱落し, 新芽では上位から第3~4葉目になるとほとんど認められない.

本試験では茶葉の毛茸の調査を一番茶期の他に一部6月の二番茶, 7月の三番茶時期にも行ったが, 調査時期の違いは特に認められなかった. しかし, 呉 (1964)は台湾での調査で, 夏茶期は毛茸密度および毛茸の長さは安定性を欠き, 調査には不適であるとしている. 本試験でも夏期の新芽では, 調査に最も適している展開直後の葉が急激に大きく生長している場合があり, そのような葉では毛茸の一部が脱落あるいは変形して系統本来の毛茸特性が見られないことがあった. しかし, 1系統当たりのサンプリング数を5~7芽とし総合的に判断

表-11 チャ遺伝資源における毛茸分類型別頻度

分類型	毛茸の長さ	毛茸の密度	毛茸の分布	var. <i>assamica</i>			var. <i>sinensis</i>		参考品種
				アッサム種	中国種	日本在来種	中国種	日本在来種	
I	—	—	無	75					台湾ヤマチャ 21
II-1	—	—	中肋	40	1				Pks109
II-2	短	低	中肋周辺	51					Ak327
II-3	中	低	中肋周辺	12					Ak412
II-4	長	低	中肋周辺						
III-1	短	低	葉面内側	109	10				Ak397
III-2	短	中	葉面内側	71	1				Pks104
III-3	短	高	葉面内側	6					Pks264
III-4	中	低	葉面内側	72	3				Pks11
III-5	中	中	葉面内側	83	13				Abo24
III-6	中	高	葉面内側	11	1				Ai93
III-7	長	低	葉面内側	7	3				SRL21
III-8	長	中	葉面内側	13	26		1		Ak409
III-9	長	高	葉面内側	11	6				Ai16
IV-1	短	低	全 面		2				Cd316
IV-2	短	中	全 面	7	1				Ak453
IV-3	短	高	全 面	19					Ai3
IV-4	中	低	全 面	1					Cn29
IV-5	中	中	全 面	23	20		13		Ai17
IV-6	中	高	全 面	41	15		3		Ai2
IV-7	長	低	全 面						
IV-8	長	中	全 面	8	27		12		Cd122
IV-9	長	高	全 面	55	361		1,212		やぶきた
	合 計			714	491		1,241		

すれば、大きな間違いをすることは少ないと思われた。

中国種に属する中国本土の材料と日本在来種の毛茸特性は同じような傾向を示したが、中国本土の系統の方がやや変異が大きかった。韓国の材料 (Kor) も本試験では日本の在来種と同様に毛茸が長く、密度が高くて全面に分布しているものが多かったが、池田・根角 (1999 b) によれば、毛茸の短いものや密度の低いものがあり、日本の在来種よりも変異が大きいことが指摘されている。

これらの中国種に対してインドのダージリンから導入した Cd 系統は中国種の特徴の他に、毛茸が短いものや毛茸密度が低いもの、あるいは毛茸が内側半分だけに分布するものなどアッサム種の特徴を有する系統がかなりの頻度で認められた。このことからダージリンの Cd 系統群は成葉の形態、葉色の項でも述べたようにアッサム種の関与が認められた。

新葉の毛茸特性はチャの識別形質として有用であるが (呉, 1964; AMMA 1986), 毛茸という単一形質だけでは特徴ある一部の品種・系統を除いては識別困難である。特に、日本在来種に由来するわが国の緑茶用品種では、毛茸形質の変異は極めて小さくほとんど識別不能である

が、アッサム種の関与が推察される‘ゆたかみどり’や‘ふじみどり’では、毛茸密度が中程度であることが別に行ったジーンバンク事業の特性調査で明らかにされており、日本在来種だけが関与して成立している大多数の緑茶用品種の中では、このような特徴のある品種を識別することは可能である。そこで形態的によく似ている4組の品種・系統、すなわち‘かなやみどり’と‘NN12’、‘ろくろう’と‘こやにし’、‘ひめみどり’と‘S6’そして‘べにほまれ’と‘金 Cd 5’について毛茸特性を比較した。その結果、日本在来種に属する前3組では識別できなかったが、アッサム雑種である‘べにほまれ’とダージリンから導入した中国種、‘金 Cd 5’を比較すると、後者は毛茸の長さが「中」であったのに対し、‘べにほまれ’は「長」で識別可能であった。このように品種・系統によっては毛茸形質は有効な識別形質になることが認められた。

一方、変種間でみると毛茸形質はアッサム種と中国種を分類する指標として有効であった。また、無毛茸の台湾ヤマチャなど非常に特徴あるグループの識別にも利用できることがわかった。

本試験で調査した台湾ヤマチャの系統群は、台湾の自

表-12 チャ遺伝資源各系統群の毛茸分類型の頻度

分類型	var. <i>assamica</i>										var. <i>sinensis</i>						日本 在来	
	Ai	Ak	IND	PKS	SRL	Aj	Boh	BUM	Shan	台湾 ヤマチャ	その 他	Cd	Ck	Cm	Cn	Cp		Kor
I		1								73	1							
II-1		20	3	13	2				1		1	1						
II-2		29	1	16	3				1		1							
II-3		6	3	3														
II-4																		
III-1		53	6	36	4		2	3	1		4	10						
III-2	5	24	6	20	6	2	3	2	1		2	1						
III-3		3	1	2														
III-4		15	7	36	9	2	2	1				3						
III-5	3	22	12	31	10		1				4	7	1	1	3	1		
III-6	1		3	5	1		1					1						
III-7			3	2	1				1			1		1	1			
III-8		5	1	2	5							20			2	1		2
III-9	1	3	2	4	1							6						
IV-1												2						
IV-2	1	1	1	4								1						
IV-3	6	5	3		1		2		2									
IV-4		8			2										1			
IV-5	5	8	3	5	1	2						6	6	1	3	1	1	13
IV-6	8		6	9			1	1	3	2		7	4		4			3
IV-7		3			1													
IV-8		23	3	1	2				5			15	5	1	6			12
IV-9	3		5	17								140	56	38	91	29	12	1,210
合計	33	229	69	206	49	6	12	7	15	75	13	221	72	42	111	32	13	1,241

生地で直接採種して育成した系統であり、最も台湾ヤマチャの特徴を強く有している。わが国にはこれ以外にもいろいろなルートで導入された台湾ヤマチャがあるが、これらも程度の差はあるが、多くは無毛茸あるいは中肋近辺に限られるなどの著しい特徴を持っていることが農林水産省ジーンバンク事業の特性調査で認められている。これら少数の毛茸を有する台湾ヤマチャは耐寒性がやや強いことから中国種との雑種になっている可能性が高いと思われる。台湾ヤマチャは半喬木性で耐寒性が低い、開花期が遅い、発酵性が高いなどにより、一般にはアッサム種に分類されているが(橋本, 1970; 王ら, 1990)、毛茸特性からみた場合、完全に毛茸を欠くという著しい特徴があり平均的なアッサム種とはややかけ離れているように見える。しかし、無毛茸系統はアッサム種の中にもあり、アッサム種の表現型の一つであることから、特定のアッサム種の集団が台湾の山岳地帯という孤立した環境の中で無毛茸特性を保存してきたとすれば、非常に限定された集団の一つの表現型と見ることもできる。

新葉裏面の毛茸特性は中国種では比較的変異は小さかつ

たが、アッサム種では極めて変異が大きく、アッサム種と中国種の種内分類の指標として有用な形質である。また、毛茸特性の類型化による23の分類型はチャ遺伝資源の分類あるいは識別にも利用できることが明らかになった。

3 花器形質の変異とその分類への適用

チャの花はわが国では9月から11月中旬頃まで咲くが、この花は一部茶室等で飾られることはあるがほとんど利用されることはない。このようなことから花器の形質はこれまで特定の人為的選抜あるいは淘汰などを受けたことがほとんどなく、チャの分化と類縁関係を検討する指標として役立つものと考えられる。チャの花器形質についてはいろいろと報告されており(志村, 1949; 足立, 1949; 呉, 1962; 鳥屋尾・武田, 1978; 武田・鳥屋尾, 1980; 大石, 1983)、アッサム種と中国種の変種間で違いが認められること、品種間でも差異があり品種の識別に利用できること等が明らかにされているが、多くの地域から収集し、多様な変異を含むアッサム種、中国種および人為的に作出された変種間雑種などの系統につ

いて花器形質を調査し、それに基づいて種内分類を試みた例は見当たらない。

そこで、本節ではアッサム種、中国種および両変種間雑種に属する系統群ごとの花器形質のデータをもとに主成分分析およびクラスター分析を行って花器形質によるチャ遺伝資源の類縁関係を検討した。また、変異が大きい雌ずいの3形質を用いて緑茶用品種・系統の分類を行い、併せて個々の品種の花の特徴を簡単に表示する方法について提案した。

a 花器形態による茶樹集団の数値分類

チャの花器形質における変異の大きさからチャの分類に最も適した形質を抽出し、それに基づいて主成分分析およびクラスター分析を行ってチャの種内分類および各系統群の分類上の所属について検討した。

1) 材料および方法

野菜茶業研究所(枕崎)の保存茶樹集団42について花器形質を調査した。供試した試験材料を表-13にまとめて示した。

供試材料は、中国種 (var. *sinensis*) としてわが国ヤマチャ5集団 (No. 1 ~ 5), 日本在来種12集団 (No. 6 ~ 17), 中国本土からの導入種6集団 (No. 18 ~ 21, 24, 25), インド・ダージリンからの小葉系統2集団 (No. 22, 23), 韓国2集団 (No. 26, 27) の合計27集団 (No. 1 ~ 17は日本在来種およびヤマチャ, 18 ~ 27は導入中国種として扱った) とアッサム種 (var. *assamica*) としてインド (No. 28, 30, 33, 34), インドネシア (No. 29), マレーシア (No. 31), バングラディシュ (No. 35), スリランカ (No. 36), ミャンマー (No. 37), 台湾 (No. 38) からの合計11集団 (No. 28 ~ 38) および上記のグループに入らない4集団をその他・雑種 (No. 39 ~ 42) として扱った。この中のNo. 39は枕崎で育成したアッサム種と中国種の交雑育成系統群で、この集団のみは人為的に作られた集団である。調査は各集団について1個体5花ずつ開花盛期の花を採取して行った。取り上げた形質およびそれぞれの階級値を表-14に示した。

数値分類は得られたデータで集団の平均値をとり、農林水産研究計算センターに依頼して行った。使用したプログラムはMAPである。

表-13 花器形態の調査に供試した系統の来歴と調査系統数

No.	収集群	収集場所	系統数	No.	収集群	収集場所	系統数
1	宮崎ヤマチャ	日本 宮崎県	64	23	Cd (B)	インド ダージリン	20
2	熊本ヤマチャ	日本 熊本県	28	24	Ca	中国 湖南省	6
3	大分ヤマチャ	日本 大分県	28	25	Cy	中国 湖北省	7
4	福岡ヤマチャ	日本 福岡県	41	26	Kor (A)	韓国	12
5	高知ヤマチャ	日本 高知県	56	27	Kor (B)	韓国	5
6	埼玉在来	日本 埼玉県	58				
7	三重在来	日本 三重県	45	28	Ai	インド アッサム	26
8	福井在来	日本 福井県	27	29	Aj	インドネシア ジャワ	8
9	滋賀在来	日本 滋賀県	54	30	Ak	インド ダージリン	41
10	奈良在来	日本 奈良県	56	31	Boh	マレーシア	35
11	京都在来	日本 京都府	81	32	Shan	ベトナム	11
12	島根在来	日本 島根県	13	33	IND (A)	インド	22
13	愛媛在来	日本 愛媛県	54	34	IND (B)	インド	20
14	高知在来	日本 高知県	82	35	PKS	バングラディシュ	20
15	福岡在来	日本 福岡県	67	36	SRL	スリランカ	28
16	佐賀在来	日本 佐賀県	46	37	BUM	ミャンマー	5
17	鹿児島在来	日本 鹿児島県	48	38	台湾 ヤマチャ	台湾	17
18	Ck	中国 安徽省	51				
19	Cp	中国 浙江省	21	39	アッサム	雑種交雑育成種	20
20	Cm	中国 江西省	22	40	IRN	イラン	19
21	Cn	中国 江西省	43	41	MC	コーカサス	14
22	Cd (A)	インド ダージリン	30	42	グルジンスキー	グルジア	5

No. 1 ~ 27: 中国種 (var. *sinensis*).

No. 28 ~ 38: アッサム種 (var. *assamica*).

No. 39 ~ 42: アッサム雑種 (var. *sinensis*と var. *assamica*の雑種).

2) 結果

系統に分けてそれぞれの変異を表-15に示した。

(1) 花器形態の変種間変異

日本在来種, 導入中国種, アッサム種について雌ずい

調査個体を日本のヤマチャ5集団217個体, 日本在来種12集団(9府県)631個体, 導入中国種10集団217個体, アッサム種11集団233個体, その他の4集団58

抽出度(形質2), 花柱分岐点の位置(形質4), 花柱のくびれの有無(形質5)の3形質のそれぞれのグループ内の出現率を図-5に示した。

表-14 花器の調査形質と階級値

形質コード	調査形質	階級値の付け方
1	花の大小	大きい; 1, 中; 2, 小さい; 3
2	雌ずい抽出度	雌ずいより低い; 1, 同高; 2, 雌ずいより高い; 3
3	花柱分岐数	分岐本数
4	花柱分岐点の位置	深い; 1, 中位; 2, 浅い; 3
5	花柱のくびれの有無	無し; 1, 不明瞭だが有り; 2, 有り; 3
6	子房の毛の有無	無し; 1, わずかに有り; 2, 有り; 3, 多い; 4

花の大小: 大・中・小の標準品種を定め, それらと比較して行った。

大; さやまかおり (4.5cm以上), 中; やぶきた (3.0~4.5cm), 小; くりたわせ (3cm以下)。

雌ずい抽出度: 個々の花における雌ずいと雄ずいの相対的な高さを表し, 雌ずいが雄ずいよりも低い場合を「雌ずいより低い」, 雌ずいと雄ずいが同高の場合を「同高」, 雌ずいが雄ずいよりも高い場合を「雌ずいより高い」とした。

花柱分岐点の位置: 花柱非分岐部長/花柱長×100で表し, 次の基準で分類した。

深い (<35%), 中位 (35~65%), 浅い (>65%)。

花柱のくびれ: 花柱分岐部に必ずくびれ部分をもつものを「有り」, 花によって有ったり, 無かったりする場合は「不明瞭だが有り」, 無い場合は「無し」とした。

子房の毛の有無: 全く無いものは「無し」, 10数本以下のものは「わずかに有り」, 子房表面が見える程度の密度の場合を「有り」, 密生している場合を「多い」とした。

表-15 花器形質の茶樹集団群内の変異

形質	日本ヤマチャ (5)		日本在来種 (12)		導入中国種 (10)		アッサム種 (11)		その他・雑種 (4)	
	系統数	%	系統数	%	系統数	%	系統数	%	系統数	%
1 花の大小										
大	65	30	156	25	13	6	56	24	9	16
中	131	60	414	66	172	79	152	65	33	57
小	21	10	61	9	32	15	25	11	16	23
2 雌ずい抽出度										
低い	82	38	195	31	13	6	20	9	2	3
同高	126	58	350	55	73	33	87	37	14	24
高い	9	4	86	14	131	61	126	54	42	72
4 花柱分岐点の位置										
深い	21	10	79	13	11	5	2	1	4	7
中位	101	46	321	51	75	35	20	9	18	31
浅い	95	44	231	36	131	60	211	90	36	62
5 花柱くびれの有無										
無し	145	67	480	76	61	28	56	24	15	26
不明瞭だが有り	46	21	107	17	55	25	39	17	11	19
有り	26	12	44	7	101	47	138	59	32	55
6 子房の毛の有無										
無し	0	0	0	0	3	1	34	15	1	2
わずかに有り	0	0	0	0	2	1	46	20	7	12
有り	16	7	20	3	39	18	80	34	7	12
多い	201	93	611	97	173	80	73	31	43	74
合計	217		631		217		233		58	

() 内は収集地点数を表す。

日本在来種，導入中国種，アッサム種間で顕著な差異がみられるのは雌ずい抽出度で，雌ずいが雄ずいよりも高く，雌ずいが上に出るL型の出現率は，日本のヤマチャで4%，日本在来種14%，導入中国種61%，アッサム種54%であった。次に，変異の大きい形質として花柱のくびれの有無（形質5），花柱分岐点の位置（形質4），花の大小（形質1），子房の毛の有無（形質6）などが続いた。日本在来種では，子房が無毛の系統は見られなかったが，アッサム種の中には無毛のものがかかなりの頻度（15%）で観察された。雌ずいの抽出度では，日本在来種は導入中国種，アッサム種に比べて雌ずいの高さが

雄ずいの高さよりも低く，花柱のくびれがない系統が多いこと，花柱分岐点の位置が深い（低い）ことが大きな特徴として認められた。

調査した42集団，6形質（花の大小，雌ずい抽出度，花柱分岐数，花柱分岐点の位置，花柱のくびれの有無，子房の毛の有無）のデータの平均値，変動係数，相関係数を表-16に示した。

各形質の変異の大小は変動係数でみた場合，花柱のくびれ（形質5）>雌ずい抽出度（形質2）>子房の毛（形質6）>花の大小（形質1）=花柱分岐点の位置（形質4）>花柱分岐数（形質3）の順となり，花柱のくびれの有無が最も変異が大きく，逆に花柱分岐数の変動は非常に小さくほとんどが3本であった。

形質間の相関では，花柱のくびれの有無と雌ずい抽出度（ $r=0.774$ ，0.1%水準で有意），花柱のくびれの有無と花柱分岐点の深さ（ $r=0.626$ ，0.1%水準で有意）との間に高い相関が認められ，花の大小は他の形質との相関が低かった。

(2) 供試集団の主成分分析とクラスター分析

花器の6形質を取り上げて行った主成分分析の結果を表-17に示した。

第1主成分の寄与率は0.500で全体の情報量の半分を表し，各形質の係数から雌ずい抽出度，花柱のくびれの

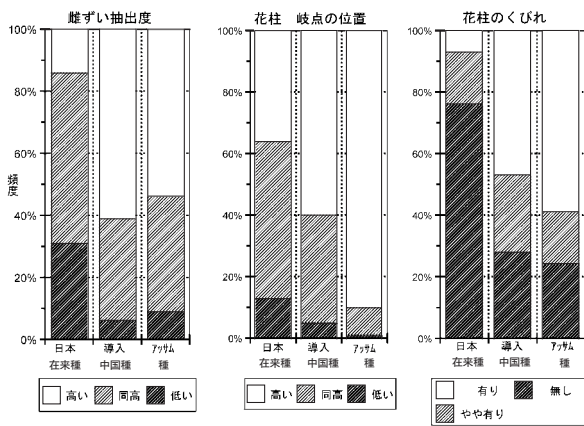


図-5 アッサム種，導入中国種および日本在来種の雌ずいの3形質における各変異の出現率

表-16 花器形質の平均値，変動係数，相関係数

形質	平均	変動係数 (%)	相 関 係 数					
			1	2	3	4	5	6
1 花の大小	1.936	13.49	1.000	0.283	0.153	-0.017	0.231	0.279
2 雌ずい抽出度	2.244	20.97		1.000	0.569*	0.457*	0.774*	-0.476*
3 花柱分岐数	2.970	2.61			1.000	0.284	0.367*	-0.229
4 花柱分岐点位置	2.472	13.98				1.000	0.626*	-0.557*
5 花柱のくびれ	1.861	29.34					1.000	-0.506*
6 子房の毛	3.561	16.81						1.000

*は0.1%水準以上で有意。

表-17 花器形質による主成分分析結果

形質	第1主成分	第2主成分	第3主成分
1 花の大小	0.098	0.770	-0.366
2 雌ずい抽出度	0.507	0.204	0.089
3 花柱分岐数	0.353	0.242	0.818
4 花柱分岐点の深さ	0.436	-0.243	-0.316
5 花柱のくびれ	0.510	0.073	-0.298
6 子房の毛	-0.398	0.491	0.022
固有値	3.000	1.329	0.744
寄与率	0.500	0.222	0.124
累積寄与率	0.500	0.722	0.846

有無、花柱の分岐点の位置が大きく関与していることが分かった。また、第2主成分には花の大小、第3主成分は花柱分岐数との関係が深く、第2主成分までの寄与率は0.722で全情報量の3/4が第2主成分までで説明できた。これにより各集団の第1および第2主成分のスコアの散布図を図-6に示した。

図-6に見られるように、来歴によって日本在来種・ヤマチャ、導入中国種、アッサム種および変種間雑種を含むその他に分けた各集団の散布図上の区分は明瞭に分かれた。第1主成分によって日本在来種・ヤマチャと導入中国種、アッサム種およびその他が区分され、第2主成分によって導入中国種とアッサム種が区分された。その他・雑種の4集団は中国導入種とアッサム種の間分布していることがわかる。日本在来種の中でヤマチャの集団は在来種の集団と区別されなかった。韓国の材料、Kor-A (No. 26)は

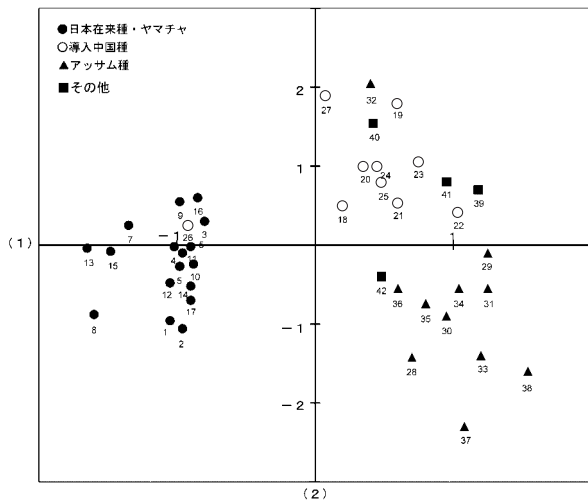


図-6 花器6形質の主成分スコアによる42集団の散布図
対象とした形質；花の大小、雌ずいの抽出度、花柱分岐数、花柱分岐点の位置、花柱のくびれの有無、子房の毛の有無。数字は供試集団の番号(表13参照)。

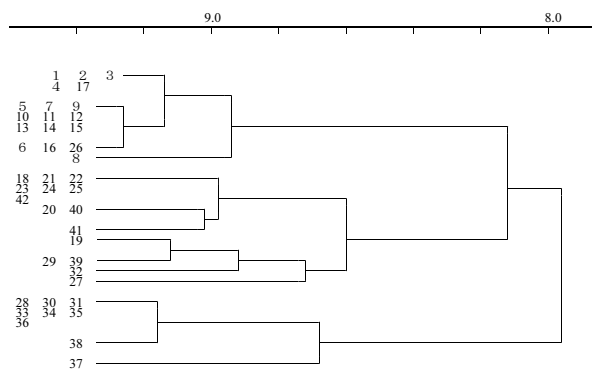


図-7 42集団の花器形質によるクラスター分析(分類距離による加重変量法)

日本在来種に入り、ベトナム産のShan (No. 32)はアッサム種から遠く離れていることが示された。

次に同じデータを使って分類距離による加重変量法によりクラスター分析を行った(図-7)。

主成分分析で明瞭に分類された42集団がここでも日本在来種、導入中国種、アッサム種、変種間雑種に分けられた。韓国の2集団のうち、No. 26が日本在来種のグループに、No. 27が導入中国種・変種間雑種のグループに分かれた。その他のグループとしたNo. 40, 41, 42が導入中国種の中に入り、アッサム種と中国種の人為的な交雑によって育成されたアッサム雑種の集団のNo. 39はNo. 29(インドネシア; Aj系統)、No. 19(中国; Ck系統)、No. 32(ベトナム; Shan系統)、No. 27(Kor-B系統)とともに一つのグループに分かれた。このことからその他とした4集団は導入中国種に近く、アッサム種にも比較的近い類縁関係が認められた。また、従来所属が問題になっていた台湾ヤマチャNo. 38はアッサム種のグループに分類された。

b 花器形態による緑茶用品種の分類と識別

中国種に属し、日本在来種として一つのグループを形成しているわが国の緑茶用品種を花器形質によって分類、識別するのに適した形質を抽出し、それに基づいてチャの花の特徴を表す表示法と類似品種の識別を行った。

1) 材料および方法

品種間変異の大きいことが認められた雌ずいの3形質、すなわち雌ずいの抽出度、花柱分岐点の深さおよび花柱分岐部のくびれの有無について取り上げ、それぞれの形質を更に次の基準で3分類して27の分類型に分け、緑茶用48品種および系統の分類を行った。

取り上げた3形質の分類基準は次の通りである。

雌ずいの抽出度：雌ずいが雄ずいよりも高い(L)、同高(M)、低い(S)

花柱分岐点の位置：浅い(s；雌ずい基部から65%以上の位置で分岐)、中位(m；35～65%の位置で分岐)、深い(d；35%以下の位置で分岐)

花柱分岐部のくびれの有無：有り(〃)、不明瞭ながら有り(′)、無し(空欄)

2) 結果

(1) 雌ずい3形質による品種の分類とその表示法

雌ずい3形質により48の緑茶用品種・系統の分類結果を表-18に示した。

表-18 雌ずいの3形質による緑茶用品種の分類

分岐点 の位置	くびれ の有無	雌ずいの抽出度		
		低い (S)	同高 (M)	高い (L)
浅い (s)	有 (")			
	わずかに 有 (')		たまみどり Z1 福10	いずみ さみどり
	無 ()	はつみどり するがわせ	さやまかおり ろくろう くりたわせ 嬉野1号 福12 福24	
中位 (m)	有 (")			やまとみどり おくみどり ふじみどり
	わずかに 有 (')		たかちほ くらさわ きょうみどり やまなみ	あさぎり うんかい おくむさし 長崎2号 ゆたかみどり
	無 ()	まきのはらわせ さやまみどり U4	あさつゆ なつみどり こまかげ 藤沢晩生 やまかい こやにし みよし やえほ ME5 NN12 NN27	倉持早生 静在16
深い (d)	有 (")			
	わずかに 有 (')			
	無 ()	やぶきた とよか かなやみどり ひめみどり S6	三重260 U24	

雌ずい抽出度：低い (S, 雌ずいが雄ずいより低い), 同高 (M, 雌ずいと雄ずいの相対的高さが同じ), 高い (L, 雌ずいが雄ずいより高い).

分岐点の位置：花柱非分岐部長/花柱長×100, 浅い (s, >65%), 中位 (m, 35~65%), 深い (d, <35%).

花柱のくびれ：有り ("), 有るが不明瞭 ('), 無し (空欄).

緑茶用の48品種は12の分類型に整理された。このためこの表で別の分類型に分けられた品種・系統はこの雌ずいの3形質だけでも識別可能になった。

次に各分類型の特性を表す表示方法について検討を行った。まず、雌ずいと雄ずいの相対的關係である雌ずい抽出度を表す文字 (大文字で表記), L (高い), M (同高), S (低い) を最初を書く。次に、花柱の分岐点の深さを表す文字 (小文字で表記), s (浅い), m (中位), d (深い) を二番目に続け、最後にくびれの有無を表す記号「'」を第二番目の文字の右肩に付ける。そして、くびれの明瞭な品種は「"」、花によって有ったり無かったりするような不明瞭な品種では「'」、無い場合は空欄とする。これにより「やぶきた」は Sd 型、「おくみどり」は Lm 型、「ゆたかみどり」は Lm 型と表すことができ、遺伝資源の花器形質の特徴を簡潔に表現出来るとともに他の系統との識別にも利用可能である。

(2) 花器形態による類似品種の識別

現在一部で混乱が認められている品種・系統について

花器形態で識別可能かどうか検討した。取り上げた類似品種は「かなやみどり」と「NN12」, 「ろくろう」と「こやにし」そして「べにほまれ」と「金 Cd 5」である。取り上げた6品種および系統の花器形態の模式図を図-8に示した。

i) かなやみどりと NN12

この両品種は「S6」を種子親、「やぶきた」を花粉親として育成された兄弟品種である。しかし、花器形態では表-18に見られるように明らかな相違がある。「かなやみどり」は雌ずいの抽出度が S で、花柱の分岐点は深い (27%) ために分類型は Sd 型であるが、「NN12」は雌ずいの抽出度が M で、分岐点は中間よりやや上 (58%) にある Mm 型である。また、通常は5片であるがく片が、「かなやみどり」では4片のものが40%程度出現することからも容易に識別できる。

ii) ろくろうとこやにし

「ろくろう」は雄ずいと雌ずいの高さがほぼ同じで、花柱の分岐点の位置が浅い (80%) Ms 型であるのに対し、「こやにし」は雄ずいと雌ずいの位置がほぼ同じ高さ

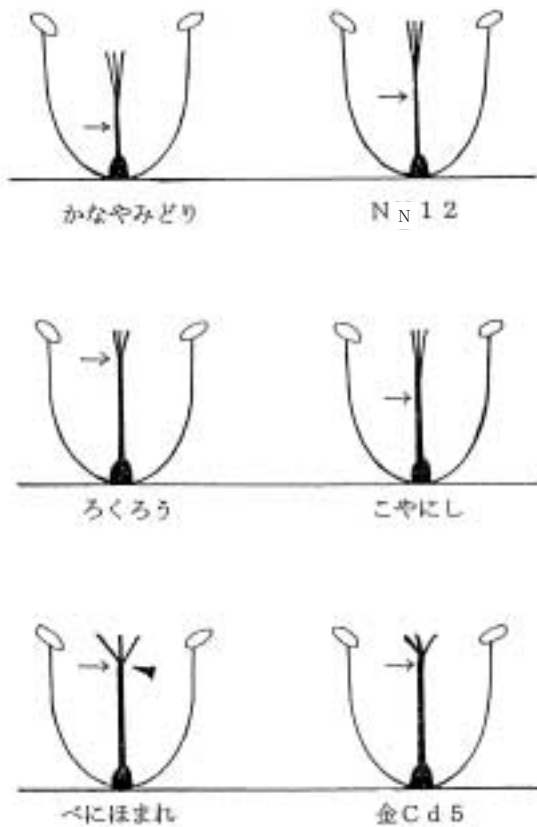


図-8 類似品種の花器形態の模式図

→は花柱分岐点の位置
◀は花柱のくびれの位置

を示し、花柱の分岐点の位置はほぼ真ん中にある Mm 型であり、容易に識別できる。

iii) べにほまれと金 Cd 5

‘べにほまれ’は花柱分岐基部に明瞭にくびれが認められる Ms 型であるが、‘金 Cd 5’はくびれが認められない Ms 型であり容易に識別可能である。

c 花器形質の変異に関する総合考察

近年、数値分類法が作物品種の分類等に積極的に用いられるようになってきた。数値分類法は、主観的に特定形質だけを取り扱うのではなく、個体の特徴を表す多数の形質を扱ってデータそのものから客観的に分類しようとするもので、伝統的な分類法に新しい知見を加える有力な手法の一つと考えられる。ここでは花器形質のうち、雌ずいの 6 形質について主成分分析およびクラスター分析を行ったが、いずれの方法においてもアッサム種と中国種を区別することができた。さらに中国種については日本在来種、ヤマチャと中国本土あるいはインドのダージリン等の系統が分けられ、従来の種内分類を裏付ける結果が得られた。

花器形質では日本在来種とヤマチャは全く同じグループに入り区別出来なかった。ベトナム原産の Shan (No. 32) は他のアッサム種の系統群とはやや離れて分布し、中国本土の中国種に比較的近い関係が認められた。この群は成葉の葉色でもやや中国種に近い所にあり、新葉の毛茸も高密度から低密度まで幅広く分布しているなど、アッサム種と中国種を結ぶ系統群である可能性が考えられた。ミャンマー原産の系統群、BUM (No. 37) はアッサム種のグループの中ではやや離れた位置に分類された。この系統群も成葉の葉色でアッサム種とやや距離を置いており、Shan 系統群とは反対の方向、すなわち中国種とはより遠い位置に分布していた。主成分分析でも BUM (No. 37) は中国種からは一番遠い位置にあったことからアッサム種から更に分化している可能性が示唆された。

韓国からの導入系統は中国導入種に近いものと日本の在来種と同じものに分類された。韓国のチャは古い時代に中国から導入され寺などに保存されていたものと、朝鮮戦争後に日本から導入されたものがあり(森田ら, 1996)、後者は日本の在来種由来の茶樹ではないかと思われる。

このように花器 6 形質による主成分分析およびクラスター分析は収集群の種内分類を行う上で非常に有効な手段であることが明らかになった。

花の形態についてこれまでの研究をみると、「インド種(アッサム種)は花が大きく、雌しべが突き出ている」、「インド雑種、台湾種のめしべの柱頭はおしべよりも長く、在来種はこれと反対のようである」などの報告があるとおり、アッサム種と日本在来種は雌しべの形態において一定の傾向をもって違いがあることが認められている(志村, 1949; 呉, 1962; 大石, 1983)。そして大石(1983)は雌ずいの 3 形質(抽出度、花柱分岐点の深さ、花柱のくびれ)の特徴からアッサム種と中国種の差よりも中国種と日本在来種の差異のほうが大きいことを指摘している。このことから日本在来種はかなり早い時期にアッサム種や中国種から分離したのではないかと推論している。本試験における主成分分析でも日本在来種は第 2、第 3 象限に分布し、日本在来種以外の中国種と明らかに分けることができたことは変種間のこれらの特徴を裏付けているものと思われる。

雌ずいの形質による品種分類では、足立(1949)は、花柱分岐点の深さと花柱分岐部の非分岐部に対する角度(めしべの展開角度)をそれぞれ 3 段階に分けて合計 9 型に分類した。また、大石(1983)は雌ずいの雄ずいに対する長さ、花柱分岐点などにより 18 通りの区分をしている。本試験で取り上げた雌ずいの 3 形質による分類

型は大石(1983)の分類型に近いが、品種間の変異が大きい「花柱のくびれ」を加えたことにより更に詳細な分類が可能になった。「花柱のくびれ」は雌ずいを調査すれば容易に判別できる形質であることからこれを追加しても調査が煩雑になることはない。

このような雌ずいの3形質で緑茶用品種・系統を分類すると、特徴あるそれぞれの分類型に分けることが可能であった。これにより樹型、樹姿、成葉等では区別が難しい類似品種でも容易に識別できる場合が多く、実用性も大きいものと思われた。また、ここで提案した雌ずいの3形質による花器形質の特性表示を今後チャの遺伝資源について行えば花器の特徴を簡潔に表すことができ、チャの分類、識別を行う上でも役立つものと思われる。

以上の結果、チャの花器形質は変異の大きい形質であり、主成分分析およびクラスター分析など数値分類法によりわが国遺伝資源を変種間および変種内レベルで有効に分類することが出来た。特に、雌ずいの抽出度、花柱分岐点の位置、花柱分岐部のくびれの有無の3形質は変動が小さく種内分類だけでなく品種識別にも利用できることが明らかになった。

4 要約

わが国のチャ遺伝資源について分類の指標となる形態的形質として成葉の形質、新葉の毛茸分布特性、花器形質の変異を明らかにし、チャの種内分類の指標としての有用性について検討した。

成葉の形態では、アッサム種 (var. *assamica*) の多くは葉長が10~11cm、葉幅が4cm台であり、中国種 (var. *sinensis*) の葉長が5~7cm、葉幅が2~3cmであることから、アッサム種と中国種は葉長では8cm、葉幅では4cm前後で分けられた。

成葉の葉色もアッサム種と中国種を分類するのに適した形質であった。中国種はアッサム種に比べると明るく、彩度が高いのが特徴であった。

新葉の毛茸分布特性では、毛茸の長さ、密度、分布の仕方によって23の分類型を作成し、アッサム種、中国種(日本在来種と導入中国種)などのチャ遺伝資源2,446系統に適用した結果、21の分類型に対応した。日本の在来種(ヤマチャも含む)の97.7%の系統は分類型IV-9(毛茸が長い、密度高い、全面に分布)に属し、ほとんど変異が認められなかった。導入中国種(中国本土およびインド・ダージリンの小葉種)では日本在来種よりも大きな変異が認められたが、その変異の大部分はインド・ダージリンの系統であった。

アッサム種の毛茸特性は中国種に比べると多様な変異を有し、分類型では21の分類型に分かれた。最も頻度が高かった分類型はⅢ-1(毛茸の長さ;短,密度;低,分布;葉面内側),Ⅲ-5(毛茸の長さ;中,密度;中,分布;葉面内側),Ⅲ-4(毛茸の長さ;中,密度;低,分布;葉面内側)であった。

花器形態の6形質(花の大きさ,雌ずいの抽出度,花柱分岐数,花柱分岐点の深さ,花柱のくびれの有無,子房の毛の有無)について主成分分析およびクラスター分析を行った結果、アッサム種,導入中国種および日本在来種・ヤマチャのグループに大別することができた。この分類で特に有効であった形質は、花柱のくびれと雌ずいの抽出度および雌ずい分岐点の位置であったことからこの3形質で27の分類型を作成し、この分類型を緑茶用の主要品種48に適用して分類した結果、12の分類型に分かれることを明らかにした。この分類型により‘ろくろう’と‘こやにし’,‘かなやみどり’と‘NN12’,‘べにほまれ’と‘金Cd5’の3組の類似品種はいずれも明瞭に識別できた。これにより花器形態の分類型は有効な識別手段になり得ることが認められた。

アッサム種と中国種の両変種間の雑種は成葉の大きさ(葉長,葉幅),成葉の先端長などの形質で両変種の間で分類できた。

台湾ヤマチャは成葉の形態および花器形態の6形質による主成分分析およびクラスター分析の結果、アッサム種に分類するのが適当であると認められた。台湾ヤマチャの集団は新葉の毛茸形質で全く毛茸を欠くなど著しい特徴が認められているが、これはアッサム種の変異の一つの表現型であり、この一つの表現型が地理的な孤立などによりデフォルメされたものと推論された。

以上の結果から、わが国チャ遺伝資源について分類の基本となる形態的形質を中心にその変異を明らかにした。これらの特性はチャの種内分類だけでなく変種内の分類あるいは識別にも利用できることがわかった。

このような形態的特性を中心とした外部形質の変異について同一条件の栽培のもとに大規模にチャ遺伝資源を比較・検討した研究はこれまでほとんどなかったことからここで得られた成果は今後のチャの分類上貴重な知見を提供するものと思われる。

Ⅲ チャの生理生態的形質の変異とその育種への利用

チャの分類の指標として生理生態的特性も重要である。

特に、この生理生態的特性はチャの栽培とも密接に関連しており、個々の形質は実用的な形質としても重要である。

チャの生理生態的形質では耐凍性が重要である。チャは北米大陸を除く北緯 45 度から南緯 34 度のアルゼンチン、ニュージーランドまで、熱帯、亜熱帯、温帯の幅広い地域で栽培されている (BARUA, 1989)。また、わが国では秋田県から南の沖縄県まで 44 都府県で栽培されている (日本茶業中央会, 1999)。このため冬期の気温が -10°C 以下の厳しい条件にさらされる地域がある一方で、 15°C 以下には下らない熱帯の茶産地まで幅広い温度条件の中で栽培されている。

わが国の在来種と言われる茶樹は長い間各地方の風土に適応し冬期の耐寒性も一般的に強いが、アッサム種に属する大葉系の茶樹は耐寒性が弱く、最低気温が 0°C を下回らないような一部の地域を除くとわが国での栽培には困難な場合が多い。しかしながら、今後わが国のチャの重要な育種目標である高度耐病虫性、嗜好の多様化に対応した品種の育成あるいはチャの持つ特有成分に着目した成分育種などを進めていくためには日本在来種よりもはるかに変異の大きい海外のチャ遺伝資源の利用が必須である。このためにはチャ遺伝資源の耐凍性についても明らかにしておく必要がある。

また、チャの栽培では農薬の削減は環境保全型茶業の推進に不可欠な課題である。チャは一番茶、二番茶、三番茶を収穫するため、チャの生育期間中は常に柔らかい新芽があり被害を受けやすい。このため必然的に農薬の散布回数が多くなり、環境保全型茶業を進めるためには抵抗性品種の育成が重要となる。チャの病害では古くから炭疽病が重要であるが、1970 年代になって出現した *Pestalotiopsis longiseta* 菌による輪斑病も近年被害が大きく、重要病害になっている。わが国の主要品種である‘やぶきた’はこの炭疽病と輪斑病に罹病性であり、‘やぶきた’を母本として育成された多くの緑茶用品種もこの両病害に対して弱いものが多い。このためチャの耐病性育種においてこの両病害に対する複合抵抗性の付与は環境保全型茶業の推進に果たす役割は大きい。

そこで、本章では耐凍性および耐病性として炭疽病抵抗性と輪斑病抵抗性を取り上げ、チャ遺伝資源の変異の多様性と種内分類との関係について論議するとともに、これら遺伝資源の育種への利用の可能性についても検討した。

1 耐凍性の評価とその変異

チャの耐凍性は冬季の気温が 0°C 以下になると枯死する

ような極めて耐凍性の弱い系統から -7°C 以下に下がっても耐えられるごく耐凍性の強い系統まで非常に変異が大きく、他のカメリア属近縁野生種の耐凍性の変異が非常に小さいのと比較すると特筆すべきことである (鳥屋尾・家弓, 1973; 鳥屋尾ら, 1988)。わが国では、これまで品質優秀な国産紅茶を育成するためにアッサム種に耐凍性の強い日本在来種を交配する変種間交雑が盛んに行われ、大きな成果を上げてきた。このように耐凍性は栽培地を制限する大きな要因となることから分類の指標としてだけではなく、実用形質としても非常に重要である。

そこで本節では、インド、スリランカ、中国等から導入した海外導入種および日本の在来種、ヤマチャなどの遺伝資源について耐凍性の評価を行い、チャの二つの変種間および変種内の耐凍性について検討した。

a 材料および方法

試験には野菜茶業研究所 (枕崎) で保存しているチャ遺伝資源 2,610 系統を供試した。供試した収集群とその系統数は次の通りである。

アッサム種: Ai (26), Ak (212), IND (69), Pks (194), SRL (44), Boh (13), Shan (14), BUM (7), 台湾ヤマチャ (88)

中国種: Cd (215), Cn (103), Cp (27), Cm (34), Ck (60), Ca (7), Cy (8), Kor (23), 日本在来種 (1,033), 日本ヤマチャ (110)

その他: IRN (31), 変種間雑種 (292)

試験は最も耐凍性が高く安定した厳寒期 (1 月中・下旬) に成葉 3 ~ 4 枚を付けた枝条を 1 系統当たり 4 ~ 5 本採取し、 -12°C の低温庫で 2 時間処理して行った。耐凍性の評価は、処理後室温で自然解凍し、乾燥しないようにビニール袋に入れて室内で 2 日間保存した後、成葉の被害度 (成葉の褐変壊死の程度) を標準品種を参考に検定し、被害度をもとに「植物遺伝資源特性調査マニュアル (5)」(農業生物資源研究所, 1992) に従って耐凍性を 2 (極弱) ~ 8 (極強) までの 7 段階で判定した。

b 結果

1) 耐凍性の種内変異

アッサム種 (var. *assamica*)、中国種 (var. *sinensis*) および人為的に作出した両変種の変種間雑種の耐凍性を表-19 に示した。

チャの種内分類で中国種に属する日本、韓国、中国の材料の多くは耐凍性の階級値が 6 ~ 7 で「やや強」から「強」に含まれた。インドのダーズリン原産の Cd 系統群

表-19 系統群ごとにみた耐凍性の変異

収集群	系統数	耐凍性						平均	
		2	3	4	5	6	7		8
【アッサム種】 (var. <i>assamica</i>)									
Ai	26		8	12	16				3.92±0.57
Ak	212	12	66	80	54	10			3.88±0.77
IND	69	3	27	28	11				3.68±0.68
PKS	194	8	86	75	25	2			3.61±0.68
SRL	44	1	15	20	7	1			3.82±0.64
Boh	13	6	6	1					2.62±0.57
Shan	14	7	4	2	1				2.79±0.79
BUM	7		5	1	1				3.43±0.61
台湾ヤマチャ	88	3	42	34	8	1			3.57±0.65
【中国種】 (var. <i>sinensis</i>)									
Cd	215				25	135	47	8	6.18±0.50
Cn	103				6	62	33	2	6.30±0.51
Cp	27				2	10	14	1	6.51±0.61
Cm	34					20	12	2	6.47±0.55
Ck	60				9	20	28	3	6.41±0.70
Ca	7					2	5		6.71±0.41
Cy	8					2	4	2	6.00±0.50
Kor	23						23		7.00±0.00
日本在来	1,033				35	311	582	105	6.73±0.51
日本ヤマチャ	110				1	23	81	5	6.82±0.34
【その他】									
IRN	31			4	18	8	1		5.19±1.59
【変種間雑種】									
A×C	27			6	11	10			5.15±0.63
A×N	66			11	33	22			5.17±0.56
(A×N)×A	62			5	51	6			5.02±0.19
(A×N)×N	137			4	53	73	7		5.61±0.56

耐凍性の階級：2；極弱，3；弱，4；やや弱，5；中，6；やや強，7；強，8；極強。

A（アッサム種，var. *assamica*），C（導入中国種，var. *sinensis*），N（日本在来種，var. *sinensis*）。

も小葉種のため中国種として扱われているが，検定した215個体の平均耐凍性は6.18で日本，中国，韓国の中国種に比べるとやや耐凍性が低い傾向が認められた。中国種の中では，韓国の材料がいずれも耐凍性「強」の7を示し，他の中国種に属する系統群に比べて強い傾向が認められた。中国種全体では耐凍性の平均はどの系統群も「やや強～強」の範囲にあり変異の幅は小さかった。

アッサム種の耐凍性は階級値3（弱）～4（やや弱）に集中しており，「やや強」の耐凍性6を示す系統はごく少数であった。この中でインドのダージリンから導入した大葉系の系統群AkとバングラディッシュのPKS系統群およびスリランカのSRL系統群は，耐凍性が極弱の2からやや強の6まで分布しており，アッサム種の収集群の中では広い変異を示した。インド原産のAi系統群は

アッサム種の中では比較的耐凍性が強かったが，マレーシアのBoh，ベトナムのShanなどの系統群は耐凍性が弱く，階級値は2～3の所に集中していた。台湾ヤマチャは分類上の帰属については議論のあるところであるが，耐凍性で見るとアッサム種と同じであった。イランの材料（IRN）は耐凍性の平均が5.19でアッサム種と中国種の間を示した。

アッサム種（A）と導入中国種（C）あるいは日本在来種（N）との交配により育成した変種間雑種（A×C，A×N）の耐凍性は，中国種とアッサム種の間で階級値，4～6に大多数が分布した。また，この変種間雑種に日本在来種あるいは導入中国種を戻し交配すると，耐凍性は親となった変種間雑種よりも強くなり，逆にアッサム種を戻し交配すると弱い方に耐凍性の平均が移動した。

2) 日本在来種の耐凍性の変異

中国種に属する日本の在来種およびヤマチャの府県別にみた耐凍性の変異を表-20に示した。

日本在来種の耐凍性の平均は6.73、ヤマチャの耐凍性の平均は6.82で、両者の間にはほとんど差は認められなかった。しかしながら、各階級における耐凍性の頻度分布をみると、両者とも耐凍性「強」の階級値7に最も多く分布するが、ヤマチャの方がやや変異の幅が小さい傾向が認められた。

地域別に見ると、茨城県、埼玉県などの関東地方の材料に強いものが多く分布している傾向が見られた。しかしながら、北陸地方の新潟県、福井県および東北地方の日本海側にある秋田県は冬季の寒さが厳しいにもかかわらず耐凍性は他の地方の材料と大きな差異は認められなかった。府県別に見た場合、京都府の材料は耐凍性「中」(階級値5)から極強(階級値8)まで幅広く

分布しており、やや変異の幅が大きい傾向が見られた。

c 考察

チャ遺伝資源の耐凍性の変異を人為低温処理を行って評価し、アッサム種、中国種とそれらの変種間雑種の耐凍性を明らかにした。ここで用いた耐凍性は「ハードニングが進んだ冬季に凍結などにより植物が受ける障害に対する抵抗性」とし、冬季間の凍結あるいは凍結に伴う風や乾燥など種々の障害に対する総合的な抵抗性である耐寒性(耐凍性)とは区別して用いた。従って、ここで言う耐凍性は「植物遺伝資源特性調査マニュアル(5)」(農業生物資源研究所, 1992)の中にある二次特性の必須項目、「赤枯れ」に相当する耐寒性である。

チャの遺伝資源の耐凍性の変異は非常に広く、「極弱」の2から「極強」の8まで分布していた。これは鳥屋尾ら(1988)が明らかにしたように、カメリア属に所属す

表-20 府県別にみた日本在来種とヤマチャの耐凍性

収集群	系統数	耐凍性						平均	
		2	3	4	5	6	7		8
秋田	2					1	1		6.50±0.50
新潟	6					4	1	1	6.73±0.39
福井	15				1	5	8	1	6.60±0.61
茨城	7						5	2	7.29±0.41
埼玉	14					4	1	9	7.36±0.83
静岡	8					3	4	1	6.75±0.56
三重	48				1	12	30	5	6.81±0.48
滋賀	49				1	11	32	5	6.84±0.45
京都	318				15	108	175	23	6.64±0.59
奈良	61					16	41	4	6.80±0.42
兵庫	9					2	6	1	6.89±0.40
広島	4					2	2		6.50±0.50
島根	5					3	2		6.40±0.48
徳島	54				1	17	33	3	6.70±0.51
愛媛	25				3	11	11		6.32±0.60
高知	51				1	19	27	4	6.67±0.56
福岡	60				1	16	36	7	6.82±0.50
佐賀	27				4	6	15	2	6.56±0.71
長崎	20				3	4	12	1	6.55±0.69
熊本	6					3	3		6.50±0.50
宮崎	187				4	49	101	33	6.87±0.54
鹿児島	57					15	39	3	6.79±0.42
高知*	30					7	22	1	6.80±0.37
福岡*	24					2	21	1	6.96±0.16
大分*	15					2	13		6.87±0.23
長崎*	8					1	7		6.88±0.22
熊本*	13					3	7	3	7.00±0.46
宮崎*	20				1	8	11		6.40±0.60

* ヤマチャ

る他の近縁野生種の耐凍性が非常に狭く、いずれの種も耐凍性の程度が2階級以内の幅に収まることと比較すると特筆すべきことである。多数の供試材料を用いて行ったこの試験から、耐凍性は分布する地域の立地条件、特に気象条件を反映しており、熱帯、亜熱帯に分布するアッサム種は耐凍性が弱く、中国、日本、韓国のように温帯域に分布するものはそれよりも明らかに耐凍性が強く、両変種間の耐凍性は平均で3ポイント程度の大きな差異が認められた。これはカメリア属の個々の近縁野生種の耐凍性の変異を考えると、アッサム種 (var. *assamica*) と中国種 (var. *sinensis*) の二つの変種間の差異は別種と考へても良い大きさである。COHEN STUART (1919) がチャの起源について「中国の小葉種はアッサム種とは全く無関係に中国東部で発生した」として二元説を提唱したのもこのような両変種間の大きな差異によっているものと思われる (大石, 1983)。しかしながら、種の分類の基礎となる生殖的隔離は両変種間では認められないことから、現在では同一種の変種として分類することが支持されている (北村, 1950; SEALY, 1958)。

チャの原産地はこれまでの研究から現在では雲南省から貴州省にかけての山岳地帯とする説が有力である (橋本・志村, 1978; 呉, 1987; 鳥屋尾, 1988; 庄, 1992)。そして南西に向かったものがアッサム種、東に向かったものが中国種とすれば、前者は半喬木の大葉種として耐凍性を失い、後者は樹形と葉形を小さくすることによって耐凍性を獲得したと考えられる。そして現在のチャが同一の起源から分化したとすれば、両変種間を埋める移行型が必ずある筈である。紅茶用品種を育成するために人為的に作出した変種間雑種は耐凍性をはじめ、第1章でみてきた形態的特性においても両変種の間中型を示したことから、両変種の間を埋める中間型と考えることができる。これについて最近中国でも雲南省を中心に西南部の遺伝資源の調査が始まり、大葉種と小葉種の間と思われる材料が報告されている (陳・陳, 1979)。今後これらの地域の調査が進めばチャの種内分化について新しい知見が得られるであろう。

チャの人為耐凍性検定の有用性について、鳥屋尾ら (1973, 1974) は1963年の寒害年における茶樹の低温抵抗性と成葉の人為低温処理による耐凍性の品種間差異の詳細な結果から、品種の耐凍性は成葉の人為耐凍性検定の結果と非常によく一致することを報告している。従って、ここで行った人為低温処理による耐凍性の評価は、チャ遺伝資源の自然条件におけるそれぞれの耐凍性を正確に反映しているものと思われる。

鳥屋尾ら (1973, 1974) は耐凍性の異なる品種・系統の地域適応性検定試験の結果からわが国の茶栽培地帯をチャの栽培限界温度に基づいて5つに地帯区分した。これによると、栽培限界温度が最も低い第I地帯は最低極温が -9°C 以下、1月の平均気温が 4°C 以下の地域が該当する。この地域では日本の在来種や中国の小葉種など耐凍性の最も強い中国種系統が栽培可能である。反対に、栽培限界温度が最も高い第V地帯は、1月の最低極温が 0°C 以上、1月の平均気温が 12°C 以上の地域であるとした。そして現地試験における寒害と耐凍性の階級値との関係から、栽培限界温度は‘やぶきた’ (耐凍性7) では -9°C 前後、‘はつもみじ’ (耐凍性5) では $-5 \sim -7^{\circ}\text{C}$ 、‘Ai50’ (耐凍性3) では -2°C と推論している。この限界温度と耐凍性の関係を今回得られた各系統群の耐凍性に適用して限界温度および適応地域を推定すると、アッサム種の材料ではベトナムのShan、マレーシアのBohなどの系統群は耐凍性が3よりも小さいことから栽培限界温度は 0°C 以上、その他のアッサム種はすべて耐凍性の階級値が3点台であることから、限界温度は -2°C 程度と推定される。

イランの材料 (IRN 系統) は耐凍性の平均がアッサム種と中国種の間にあつたが、花器形態でも同様の結果が得られており、この収集群はアッサム種と中国種の変種間雑種と認められた。

収集された各集団の耐凍性は、収集場所の気象条件、特に最低気温と関係していることは日本の在来種の中にも認められる。例えば、冬季、寒風が吹く茨城県、埼玉県、南九州の宮崎県の在来種も耐凍性が強い傾向にあつた。南九州におけるチャの栽培は、1750年頃以降に宮崎県の都城地方に宇治から多くの種子が導入されて最初にこの地で栽培が盛んになった。都城で採取された種子は「都城種」とよばれ、南九州各地に運ばれて茶園造成に役立ったが (都城市史編さん委員会, 1990)、都城は盆地のため冬季の寒さが厳しくこのため耐凍性の弱い個体が淘汰された可能性が考えられる。韓国の材料の耐凍性が強かつたのも同様の理由と思われる。

秋田、新潟、福井の材料の耐凍性は6.50~6.73で他の日本在来種と耐凍性においてほとんど差異がなかった。これらの地域の茶樹は一般に樹形が小さいが、これは雪の下に早く埋もれて保護されるような小型の樹形が生存に有利となり現在まで生き残った可能性が考えられる。このためこれらの地域では冬季の気温の低下は淘汰に有効に働かなかつたものと思われる。これについて高橋

(1960)は、多雪地帯に分布する種の生態型は樹高の低い灌木性の生態型を持つものが有利であるとしている。また、ツバキの分布をみると、積雪の少ない海岸近くの平野部ではヤブツバキが分布し、それよりも内陸の雪の多い山岳地帯にはユキツバキが分布している(津山, 1956; 萩屋, 1968)。そしてユキツバキは枝の伸張が遅く、枝がしなやかで折れない特性をもっており、積雪地帯に適応した生態系を備えているが、ヤブツバキに比べて耐凍性が低いことが明らかにされている(五十嵐・萩屋, 1990)。

一般に、同一樹種で比較すると、日本海側と太平洋側では耐凍性に差があり、日本海側の方が耐凍性が低いことがスギやトドマツなどで示されている(武藤・堀内, 1974; 久保田, 1968)。このことは本試験でも認められたように東北、北陸の茶樹の耐凍性が決して強くないことや茨城県、埼玉県茶樹の耐凍性が高いことなどと共通しているものと思われる。

本節ではチャ遺伝資源の耐凍性評価によりアッサム種、中国種の変種間変異を明らかにし、両変種間には不連続の変異があることを明らかにしたが、両変種間の雑種の耐凍性は両変種の間にあることが分かった。

2 炭疽病抵抗性の変異と育種への利用

チャの病害には輪斑病の他にも炭疽病、赤焼病、もち病、赤葉枯病など適宜防除を必要とする病害が5種類以上ある。この中で生育期間中、常に防除の対象になり被害の大きい病害として炭疽病がある。

炭疽病は新葉裏面の毛茸から侵入することが明らかにされており(浜屋, 1982)、感染から発病までは約1カ月弱である。従って、一～三番茶期は病徴が現れる前に摘採されるため発病葉は少ないが、三番茶以後になると秋まで摘採せずに新芽を伸ばすため秋芽に感染、発病することが多い。秋芽は翌年の一番茶の親葉となるので、これが炭疽病によって落葉などの被害を受けると翌年一番茶の収量と品質に及ぼす影響は大きい(永田, 1954)。また、最近では二番茶までで摘採を中止する栽培が多くなり、丁度梅雨の中期から末期に伸びた三番茶の新芽に感染して炭疽病の被害を大きくしている(小泊, 1972; 高屋, 1978)。

そこで本節では、チャ遺伝資源における炭疽病抵抗性の評価を行い、その変異を明らかにするとともに、炭疽病抵抗性育種の効率化を図るために抵抗性の遺伝力についても考察した。

a 材料および方法

チャ遺伝資源2,422系統について炭疽病の発生が多かった1995年6月と1996年6月にほ場で炭疽病の発生程度を調査し、「植物遺伝資源特性調査マニュアル(5)」(農業生物資源研究所, 1992)に基づいて抵抗性の評価を行った。

また、日本在来種、アッサム種、アッサム雑種を含む育成途上の交配実生集団49組合せ、3,846個体について各組合せの両親の炭疽病発病程度とそのF₁の発病程度を11月、5月、6月の3時期に調査し、平均発病度(被害度)を求めた。発病度の調査は、0(発病無)、1(少、発病葉1～3枚/株)、2(中、発病葉4～10枚/株)、3(多、発病葉11～25枚/株)、4(甚、発病葉26枚以上/株)の5段階で評価した。F₁各個体の被害度をもとに、各組合せのF₁世代の平均被害度を求め、その中間親(両親の平均)への回帰係数と相関係数を求めた。また、これらの交配実生集団を無作為交配集団として二親交配後代(biparental progeny)の分散分析によって、組合せ間の分散成分を求め、これと誤差分散から広義の遺伝力を求めた。

b 結果

炭疽病抵抗性の評価について変種別、収集地域別に抵抗性の階級値の頻度分布を図-9に示した。

アッサム種は1系統を除いてすべて炭疽病抵抗性が高かった。病斑が認められた1系統も、わずか1～2枚程度に病斑が認められただけで、残りの系統はすべて発病が認められなかった。

中国種についても、中国からの導入種およびインドのダージリンからの導入種は抵抗性の高いものが多く、93%は抵抗性を示した。中国種の中で、抵抗性4(やや弱)、5(中)を示したものは主に湖北省産のCh系統群で、その他の系統群はほとんど炭疽病斑が認められず抵抗性7(強)と評価されるものが多かった。一方、韓国の系統(Kor)には抵抗性5(中)の系統が1/4程度認められるなど、中国導入種よりやや弱い傾向が見られた。

日本の在来種、ヤマチャでは抵抗性弱(抵抗性3)から強(抵抗性7)まで幅広く分布し、抵抗性7(強)の系統が約半数の53.4%、抵抗性6(やや強)が18.2%、抵抗性5(中)が17.0%、抵抗性4(やや弱)が6.0%、抵抗性3(弱)が5.5%あり、海外導入系統に比べて極めて変異が大きかった。そこで収集地域別に抵抗性の階級別頻度分布を図-10に示した。

近畿の材料として扱った三重、奈良、京都、滋賀の材

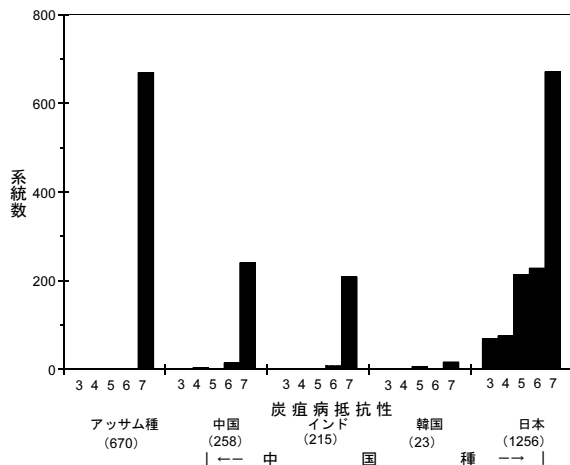


図-9 収集遺伝資源の炭疽病抵抗性

炭疽病抵抗性：3(弱), 4(やや弱), 5(中), 6(やや強), 7(強)
 アッサム種：Ai, Ak, Aj, IND, PKS, SRL, Ash, Abo, BUM,
 台湾ヤマチャ系統群。
 中国種：(中国) Cp, Cm, Cn, Ck, Ch, Cy, Ca系統群。
 (インド) Cd系統群。
 (韓国) Kor系統群。
 (日本) 日本在来種およびヤマチャ。
 () 内は供試系統数。

料の炭疽病抵抗性の変異が極めて大きく、特に抵抗性5(中)の比率が最も高く、抵抗性7(強)の比率が他の地域に比べてやや低いという特徴があった。北陸、関東・東海の場合は扱った系統数が少なかったが、やや変異が大きい傾向が認められた。九州の在来種、特に南九州の在来種は炭疽病に強い系統の割合が非常に高かった。四国の材料も近畿、東海・関東の材料に比べると抵抗性の高い系統の比率が高かった。

なお、在来種とヤマチャの比較では、両方の材料がある福岡、熊本、宮崎の3県で比較すると、熊本、宮崎の両県ではヤマチャの方が変異が大きく、福岡県では在来種の方が変異が大きい傾向が見られた。代表して宮崎県と福岡県について図-11に示した。

実際の育種ほ場にある49組合せの実生集団を使って両親とその次代の炭疽病抵抗性を検定した結果、炭疽病抵抗性は組合せ間だけでなく、組合せ内においても変異が大きく、多くの組合せで幅広い分布がみられ、単純なメンデル遺伝では説明できないと考えられた。そこでこれらの材料を無作為交配集団として統計遺伝学的手法を用いて炭疽病抵抗性の広義の遺伝力を推定し、組合せ選抜の効果を検討した。

49組合せについてF₁個体の炭疽病被害度を縦軸に、中間親の被害度(両親の被害度の平均)を横軸にして炭疽病被害度の親子相関を図-12に示した。

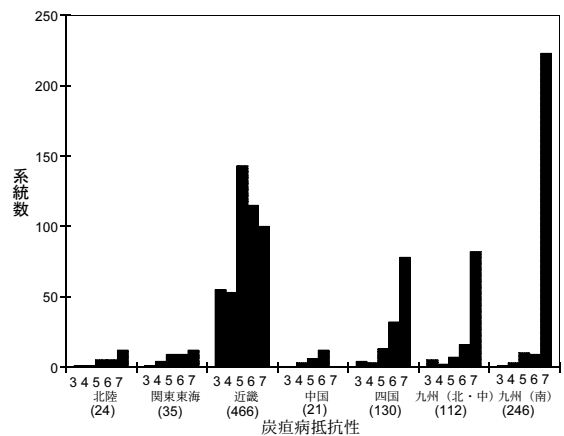


図-10 収集地域別にみた日本在来種とヤマチャの炭疽病抵抗性

() 内は供試系統数。

北陸：秋田，新潟，福井の各県。

関東東海：埼玉，茨城，静岡の各県。

近畿：三重，京都，滋賀，奈良の各府県。

中国：兵庫，岡山，広島，島根の各県。

四国：徳島，愛媛，高知の各県。

九州(北・中)：福岡，佐賀，長崎，大分，熊本の各県。

九州(南)：宮崎，鹿児島各県。

広義の遺伝力に相当する親子相関係数は0.738(0.1%水準で有意)，回帰係数は0.860(0.1%水準で有意)の高い値が得られた。これは両親の被害度が小さい組合せは次代の被害度も小さいことを示しており、炭疽病抵抗性育種では両親の選択が最も重要な要素であることが明らかになった。

次代の分散分析による広義の遺伝力の推定では、20個体以上ある46組合せについて3回の調査時期の発病度の分散分析から遺伝力を求め、0.849の高い広義の遺伝力が得られた(表-21)。

抵抗性の異なる代表的な組合せにおけるF₁個体の被害度(発病度)の頻度分布と両親の被害度を図-13に示した。

両親ともに炭疽病に強い組合せ(べにたちわせ×べにひかり)では、F₁はほとんどの個体が被害度0の抵抗性を示した。抵抗性が最強と弱の組合せ(Ak1440×やぶきた)では、次代の半数以上は被害度0の抵抗性個体であった。抵抗性が強い‘べにかおり’を片親とした場合には、‘Ak1440’を交配親とした場合よりも平均被害度はやや大きくなるが、被害度0の個体が出現している。しかしながら抵抗性中と弱の組合せ(やぶきた×あさつゆ)からは被害度0の抵抗性個体は得られなかった。

このように実際の育種事業の中の実生集団でも両親の抵抗性の程度が次代の抵抗性に大きく影響することが確

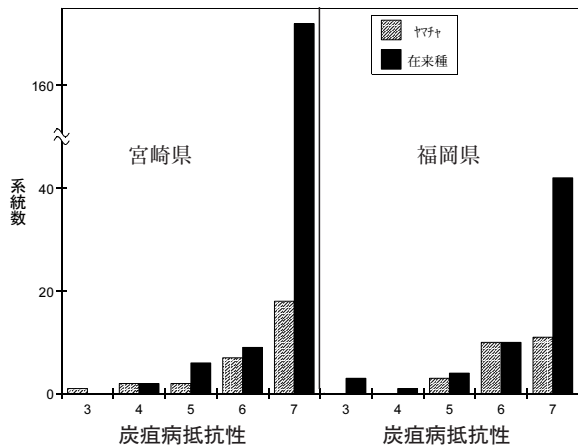


図-11 宮崎県と福岡県から収集した在来種およびヤマチャの炭疽病抵抗性

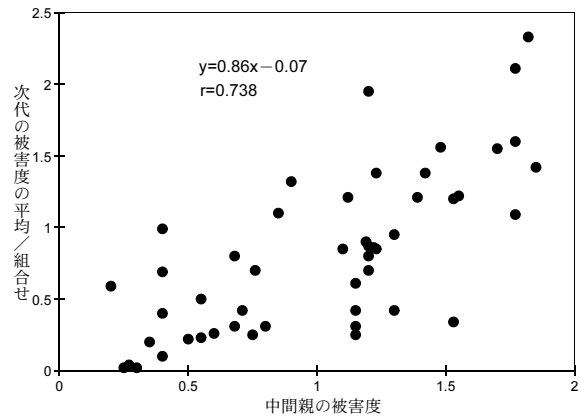


図-12 炭疽病抵抗性の親子相関 (1969年交配)

炭疽病被害度は3回の調査の平均。各調査時期の被害度は1株当たりの発病葉数を基準とし、0 (無発病)、1 (1~3枚)、2 (4~10枚)、3 (11~25枚)、4 (26枚以上)。

表-21 二親交配後代の分散から推定した炭疽病抵抗性の遺伝力

要因	自由度	平均平方	分散成分の構成
調査日	2	540.335	
個体数	919	1.604	
誤差	1,838	0.457	σ^2_r
組合せ間	45	15.899	$\sigma^2_w + k \sigma^2_B$
組合せ内の個体間	874	0.868	σ^2_w
分散成分の構成	組合せ内の個体間	0.868	$1/2 \sigma^2_G + \sigma^2_E$
	組合せ間	0.752	$1/2 \sigma^2_G$
遺伝力		0.849	$\sigma^2_G / (\sigma^2_G + \sigma^2_E + \sigma^2_r / 3)$

かめられており、炭疽病抵抗性の遺伝力が大きいことが裏付けられた。

c 考察

炭疽病に対しては日本の在来種、ヤマチャに弱いものが多く、抵抗性の変異では、日本の材料は海外導入種に比べて極めて大きいことがわかった。炭疽病菌は中国本土と台湾の一部に分布するが、日本以外ではほとんど問題になっておらず *P. longisetata* 菌による輪斑病と同様に日本に特有のチャの病害であると言える (江塚・安藤, 1994)。この中で、九州、とりわけ南九州の在来種は炭疽病に対して抵抗性のもが多かったが、これは南九州ではチャの生育期間が長く、新芽の生育中に雨が多いなど炭疽病の発生に好適な気象条件にあるため、この地方の在来種は長い栽培の間に淘汰あるいは選抜を受けたものと思われる。一方、関東では炭疽病が多発生することはほとんどなく、現在最も炭疽病に弱い品種とされている‘さやまかおり’でも育成地の埼玉県ではあまり炭疽病が発生しないことから地域によって炭疽病に対する淘

汰圧にはかなり違いがあると思われる (農林水産技術情報協会, 1981)。

ここでは炭疽病抵抗性の検定をほ場における自然発病に基づいて行った。このため色々な要因が総合された結果となり、一種のほ場抵抗性と考えられる (清沢, 1974)。炭疽病は新葉裏面の毛茸から侵入して感染するが (浜屋, 1982)、毛茸は葉が生長するに従って老化し、脱落する。この毛茸の脱落は生長中の新芽では既に上から第3葉目頃から始まっていることを考慮すると、炭疽病に感染する期間は比較的限られることになる。このため新芽の生育期間に雨がなければ感染の機会是非常に小さくなり、感染を免れることになる (永田, 1964)。炭疽病は6月の梅雨時期に感染することが多いため、二番茶新芽に感染して発病し、明瞭な品種間差が認められることが多い。チャは春の萌芽の早晩によって二番茶芽の発芽時期が異なる。このため炭疽病で被害度の調査を正確に行うには二番茶新芽の発芽時期を揃えることが重要である。そのためには一番茶後の同一時期に一度刈り落として一斉に発芽させることと、品種間差が明瞭な多発年 (test

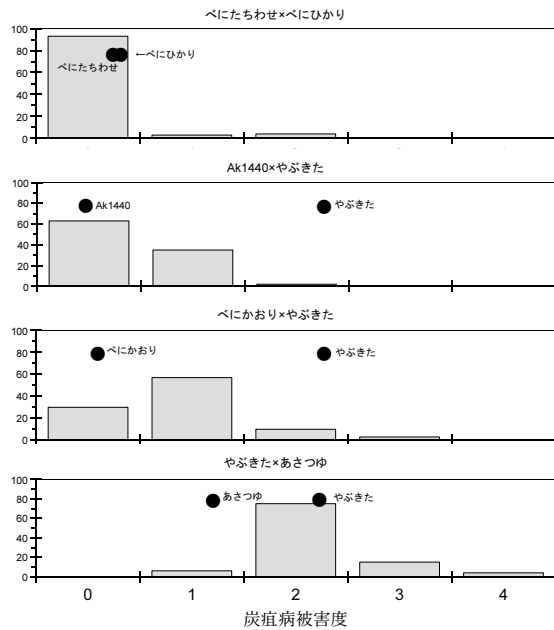


図-13 抵抗性の異なる組合せにおける次代の抵抗の頻度分布

●印は両親の抵抗性の程度（平均被害度）

year) に繰り返し調査をすることが重要である。

親子相関、次代の平均値の平均親への回帰ならびに分散分析法により2年間に3回反復調査した成績を用いて炭疽病抵抗性の広義の遺伝力を推定した。この結果、いずれの方法でも広義の遺伝力は0.7~0.8と高く、耐凍性の遺伝力(Toyao, 1982)に次ぐ高い値であることがわかった。ここで遺伝力を求めるために用いたFalconer(1960)の遺伝分析法は、親子回帰を用いて遺伝力の推定ができ、しかも特別なほ場を設けなくても継続中の育種事業の中でおおよその遺伝情報をとらえることができる利点がある。町田・小崎(1976)もこの方法でニホンナシ実生群の果肉の硬度、屈折計示度、果汁pHなどの遺伝力を求めており、ここで行った親子回帰、親子相関は遺伝力を推定するのに有効なパラメータであるとしている。

炭疽病抵抗性は広義の遺伝力が高いことから交配親の選択で次代の抵抗性の平均がほぼ決まってくるようになるが、図-13に見られるように‘やぶきた’のような抵抗性の弱い品種を片親に用いても、もう一方の親に高度抵抗性品種を用いれば次代に抵抗性個体が生じることが認められた。このことは次代の抵抗性は単なる両親の抵抗性の平均ではないことを示しており、実際の育種における交配親の選択ではこのことも考慮する必要がある。

アッサム種の炭疽病抵抗性はこれまでの調査から免疫的な強さがあった。これはアッサム種の場合、毛茸が少なかつたり、短いことも全く無関係であるとは言えない

が、アッサム種など抵抗性の強い品種では、毛茸から感染しても毛茸基部の組織がわずかに小さい点として褐変、え死して菌の侵入が阻止される過敏反応が観察されている。このためアッサム種などの抵抗性は侵入後の拡大抵抗性が大きな要因であることが想像される(江塚・安藤, 1994)。

今後、炭疽病抵抗性の遺伝様式の解析を行うためには、毛茸への分生子の付着・侵入および毛茸基部の葉組織への侵入と侵入後の病斑の拡大とに分けて抵抗性の解析を行う必要がある。

炭疽病抵抗性と他形質との相関関係については、茶葉の角皮層の厚薄、茶葉の硬軟度やタンニン含量(永田, 1964)などが報告されているが、炭疽病抵抗性と煎茶品質の間には $r = 0.022$ と全く相関が認められなかった(鳥屋尾ら, 1976)。このことは煎茶品質の優れた炭疽病抵抗性品種の育成が十分可能であることを示しているが、アッサム種などのカテキンおよびカフェイン含量の多い品種と交配すると、渋味、苦味が強くなり、品質改善のために緑茶品種への戻し交雑が必要になってくる。日本在来種の中にも炭疽病抵抗性系統が多数認められており、これらを育種母本として用いる方が育種効率からは優れているが、これら日本在来種がアッサム種が示すような免疫的な炭疽病抵抗性を持つかどうかについては今後検討する必要がある。

次章で述べる輪斑病との複合抵抗性はアッサム種あるいは導入中国種を利用すれば比較的容易に達成できるが、前述したように緑茶(特に煎茶)品質の優れた複合抵抗性品種を育成するためには、煎茶品質の優れた品種に戻し交雑をしながら炭疽病抵抗性を検定して選抜していく必要がある。育種には時間を要するものの十分可能と思われる。

3 輪斑病抵抗性検定法の開発とチャ遺伝資源の評価

チャの輪斑病は1970年代以前にはそれほど重要な病害とは考えられていなかったが、1973年頃から静岡県中・西部の茶園で枝枯れ症状を伴う輪斑病被害が発生するようになった。現在では全国の茶産地に拡大し、チャの重要病害の一つになっている(浜屋・堀川, 1982, 1983; 堀川, 1984b, 1986a, b)。

この輪斑病の病原菌について、浜屋・堀川(1982)は従前から知られていた*Pestalotia theae* Sawada(後に*Pestalotiopsis theae* Sawadaに修正)とは別種の*Pestalotia longiseta* Spegazzini(後に*Pestalotiopsis longiseta* Spegazziniに修正)であること、ならびに*P. theae*に比べて病原性が強いことを明らかにした。ま

た、堀川 (1986 c, 1987 b), 安藤 (1993) によってチャの新芽が枯れる「新梢枯死症」についても病原菌は *P. longisetia* 菌であることが明らかにされた。

P. longisetia 菌による輪斑病は、自然発病および抵抗性の検定試験から品種・系統間差異が大きく、しかも現在最も普及している‘やぶきた’が極めて抵抗性の劣る品種であることが明らかにされた (安藤ら, 1985 a; 池田ら, 1986; 堀川, 1987 a, d; TAKEDA, 1988 a; 武田ら, 1996)。

本病の感染様式は炭疽病や赤葉枯病などと異なり摘採時に生じた茶葉の傷口から侵入し、感染から発病までの期間が短いため薬剤による防除も摘採直後に行う必要があり、適期防除が困難な場合が多い (堀川, 1984 a, b, 1985; 安藤ら, 1993)。

そこで本節では、*P. longisetia* 菌による輪斑病に抵抗性のある品種を育成するために、人為接種検定法における接種条件の詳細な検討と抵抗性の評価法を確立し、チャ遺伝資源の抵抗性評価を行った。

a 輪斑病抵抗性検定法の開発

P. longisetia 菌による輪斑病抵抗性の人為接種検定法は安藤ら (1985 a), 池田ら (1986), 築瀬・武田 (1987) によって開発され、品種の抵抗性の評価が可能になった。しかしながら、これらの検定法は人為接種検定で品種間差異が認められることを明らかにしているが、接種源の濃度、接種時期、接種後の抵抗性の評価などについて十分検討されていなかった。

そこで本節では、*P. longisetia* 菌によって起こるチャの輪斑病に対する抵抗性育種を行うために、接種源である分生子の濃度、接種方法、接種後の抵抗性の判定時期、接種葉位、接種後の降雨の影響および最適接種時期等について詳細な検討を行い、チャの育種に利用できる検定法の改善を行った。

1) 材料および方法

(1) 接種源 (分生子) の濃度

罹病性品種の‘やぶきた’と中度抵抗性品種の‘ゆたかみどり’を供試して分生子濃度を次の5段階で検討した。
①原液 (分生子濃度 8×10^6 個/ml), ②1/2 希釈 (4×10^6 個/ml), ③1/4 希釈 (2×10^6 個/ml), ④1/8 希釈 (1×10^6 個/ml), ⑤1/16 希釈 (5×10^5 個/ml)。

試験は10枝条を供試し、1枝条から1枚の成葉を選んで葉身に2カ所接種した。接種はプラス型ドライバー (刃幅3mm) の刃先に分生子を付着させ、接種葉の裏側

に厚いゴム板をあてて表面から接種器具を押しつけ、傷をつけて接種し、14日後に病斑直径を調査した。

接種源の分生子は茶葉培地 (チャの葉をオートクレーブで滅菌し、培地としたもの) で約1ヶ月間培養したものを使用。以後の接種源の調製および接種法はこれに準じた。

(2) 接種時の付傷の大きさ

罹病性品種の‘やぶきた、さやまみどり’、中度抵抗性品種の‘ゆたかみどり、ふじみどり’、高度抵抗性品種の‘かなやみどり、やまとみどり’の合計6品種を供試して接種時の付傷の大きさが抵抗性の異なる品種の病斑形成に及ぼす影響を試験した。接種器具は研磨したプラス型ドライバーを用い、刃幅3mmと1mmに調製して接種した。

接種は切り枝10枝条を供試し、1枝条1枚の成葉に2カ所接種し、室内で16日間水挿し培養後、病斑の大きさを調査した。

(3) 接種後の抵抗性判定時期

輪斑病抵抗性の異なる‘やぶきた’ (罹病性), ‘ゆたかみどり’ (中度抵抗性), ‘かなやみどり’ (高度抵抗性) の3品種を供試して、接種後の病斑拡大の推移から、最適な判定時期を検討した。ほ場で各品種10枚の成葉を供試し、各成葉2カ所に接種した。接種後5日から17日までの病斑拡大について品種間の差異を検討した。

(4) 接種葉位

罹病性品種の‘やぶきた’と中度抵抗性品種の‘ゆたかみどり’を用い、接種枝条における最適葉位について検討した。試験に供試した接種葉は、春に生育した枝条についた第1葉 (最上位葉) から第9葉である。接種後16日目に病斑直径を測定し、最適葉位を求めた。

(5) 接種後の降雨の影響

罹病性の‘さえみどり’を用い、接種後の降雨の影響を検討した。ほ場で降雨の影響をみるため、接種直後から76時間後まで8時期に接種葉にスプリンクラー散水を行い発病への影響を検討した。散水量は雨量30mm/時間に相当する水を10分間散水した。

試験は10枝条を供試し、1枝条当たり1枚の成葉に2カ所接種し、16日後に病斑直径を調査した。

(6) ほ場での最適接種時期の検討

罹病性品種の‘やぶきた’、中度抵抗性品種の‘ゆたかみどり’、高度抵抗性品種の‘かなやみどり’を用い、5月15日から9月25日までの約4ヶ月間に9回時期を変えて接種を行い、品種の抵抗性と病斑直径から最適接種時期の検討を行った。

(7) 接種後の温度が病斑形成に及ぼす影響

鉢植えした罹病性品種‘ほくめい’を供試し、接種後

の温度条件が病斑形成に及ぼす影響について試験した。試験は人工気象室を用い、15, 20, 25, 30°C の4段階で行った。各試験区について2鉢を供試し、任意に選んだ10枚の成葉にそれぞれ2カ所接種し、16日後に病斑の大きさを測定した。

2) 結果

(1) 接種源である輪斑病菌分生子の濃度が抵抗性の異なる品種の病斑形成に及ぼす影響を表-22に示した。

罹病性品種‘やぶきた’と中度抵抗性品種‘ゆたかみどり’の接種結果から、接種源の濃度は原液の1/8希釈、すなわち分生子濃度が 10^6 個/mlまでは罹病性品種の‘やぶきた’の病斑直径が10mm以上に達し、中度抵抗性品種‘ゆたかみどり’の7~8mmと明瞭に識別できた。しかしながら、1/16希釈(5×10^5 個/ml)では‘やぶきた’の病斑直径が8mm前後と小さくなり、病斑の大きさから判定すると中度抵抗性品種‘ゆたかみどり’と明確に識別することが出来なかった。この結果、分生子濃度は1/8希釈、すなわち 10^6 個/ml以上が適当であった。

(2) 人為接種した場合、付傷の大きさと発病程度の関係を表-23に示した。

付傷接種時の傷の大きさは3mm刃が良好であった。1mm刃では病斑の発現が不安定になり、罹病性の‘さやまみ

どり’では10mm近い病斑を示す接種葉からほとんど病斑が拡大しない接種葉までばらつきが大きくなった。この場合の病斑直径は、平均 5.7 ± 1.65 mmで中度抵抗性と判定される大きさであった。また、中度抵抗性品種の‘ゆたかみどり’と‘ふじみどり’では病斑直径が5mmに達せず高度抵抗性と判定される危険性があった。

(3) 抵抗性の異なる品種の接種後の病斑拡大の推移を図-14に示した。

‘やぶきた’ (罹病性) , ‘ゆたかみどり’ (中度抵抗性) および‘かなやみどり’ (高度抵抗性) について接種後の病斑の拡大を見ると、接種8日目頃から病斑が確認されるようになり、以後ほぼ直線的に拡大していくが、その傾きは罹病性品種の‘やぶきた’が中度抵抗性品種の‘ゆたかみどり’よりも大きかった。‘やぶきた’では接種後17日目まで病斑は拡大し、その後葉縁に達して落葉するが、中度抵抗性品種の‘ゆたかみどり’では、14~16日以降は病斑の拡大が止まり、その後は大きくならなかつた。高度抵抗性品種の‘かなやみどり’では、4mm前後で病斑の拡大が止まり、最初に傷を付けた周囲がわずかに褐色を帯びる程度であった。このようなことから接種後14~17日で判定すれば、抵抗性の強弱は的確に評価できることがわかった。

(4) 接種葉位の違いが病斑形成に及ぼす影響について表-24に示した。

表-22 接種源の濃度の違いによる病斑の大きさ

品 種	抵抗性	原 液	1/2 希釈	1/4 希釈	1/8 希釈	1/16 希釈
		mm	mm	mm	mm	mm
やぶきた	弱	14.9±1.28	11.4±1.29	10.9±1.08	11.2±1.24	8.9±1.02
ゆたかみどり	中	7.1±0.91	7.7±1.03	8.6±1.10	7.2±0.86	5.7±1.66

10 枝条を供試し、1 枝条当たり 1 枚の成葉に 2 カ所接種。

8 月 7 日~8 月 21 日試験。

原液の胞子濃度； 8×10^6 個/ml。

表-23 接種時の付傷の大きさと病斑形成

品 種	抵抗性	付傷の大きさと発病の程度による抵抗性の判定			
		直径 3 mm	判 定	直径 1 mm	判 定
		mm		mm	
やぶきた	罹病性	15.0±0.58	罹病性	13.8±0.47	罹病性
さやまみどり	罹病性	13.7±0.49	罹病性	5.7±1.65	中度抵抗性
ふじみどり	中度抵抗性	8.1±0.45	中度抵抗性	4.7±0.40	高度抵抗性
ゆたかみどり	中度抵抗性	7.7±0.73	中度抵抗性	3.8±0.50	高度抵抗性
かなやみどり	高度抵抗性	5.1±0.21	高度抵抗性	3.0±0	高度抵抗性
やまとみどり	高度抵抗性	3.3±0.10	高度抵抗性	3.0±0	高度抵抗性

10 枝条を供試し、1 枝条当たり 1 枚の葉に 2 カ所接種。

接種後室内で 16 日間水挿した枝条を調査。

接種日は 8 月 5 日。

枝条の最上位の展開葉を第1葉とし、下に向かって第9葉まで接種して検討した。十分に硬化していない第1葉（最上位葉）では、接種後の病斑の拡大が不十分であった。このため病斑の拡大から判断した抵抗性は、罹病性の‘やぶきた’の場合中度抵抗性、中度抵抗性の‘ゆたかみどり’では高度抵抗性と判断される危険性があった。第2～第9葉に接種した場合は非常に良好な病斑形成をし、それぞれ品種本来の抵抗性を示した。特に、枝条中央部の第4～6葉への接種は最も病斑が大きくなり、品種間差異も明瞭であった。このようなことから極端に若い葉を除けば接種葉は特に選ばないことがわかった。

(5) 接種後の降雨の影響を検討するため接種後時間を変えて接種葉にスプリンクラーで散水してその影響を

検討した（表-25）。

供試した罹病性品種の‘さえみどり’は接種直後（0時間）の散水では発病が非常に不安定となり、無発病から5～6mm程度の病斑が混在し、総合的な判定では高度抵抗性～中度抵抗性と誤って判断された。本来の抵抗性である「弱」と判定できたのは接種後5時間以降の散水区であった。今回の散水は30mm/時間に相当する強い降雨が10分間継続する条件で行ったため、分生子が洗い流され、分生子濃度が低下したことが病斑形成力を低下させた原因と考えられた。

(6) ほ場での接種時期と抵抗性の異なる品種の発病程度との関係を表-26に示した。接種時期で最も品種間差異が明瞭に判定されたのは、6月29日に接種して

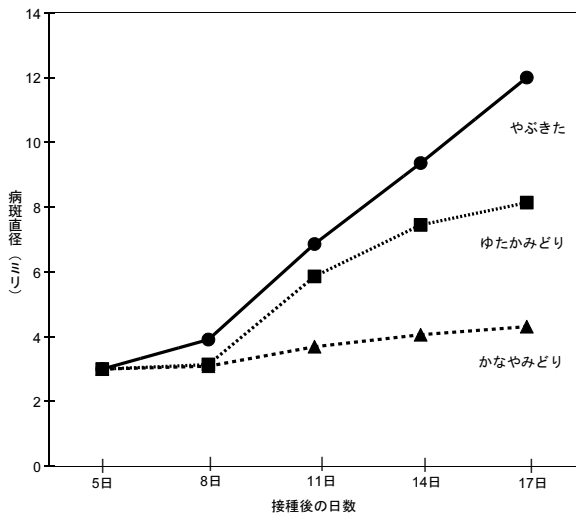


図-14 抵抗性の異なる品種の接種後の病斑拡大の推移
‘やぶきた’（罹病性）、‘ゆたかみどり’（中度抵抗性）、‘かなやみどり’（高度抵抗性）。

表-24 接種葉位の違いによる病斑の大きさ

葉位	やぶきた	ゆたかみどり
	mm	mm
第1葉	8.9±3.54	4.4±2.06
2葉	12.1±0.72	8.0±3.25
3葉	11.9±1.74	8.5±0.75
4葉	13.8±0.88	8.9±1.41
5葉	13.6±1.32	10.4±1.13
6葉	13.5±1.10	9.3±1.13
7葉	12.7±1.10	9.6±0.72
8葉	12.5±0.75	8.3±1.69
9葉	11.5±1.76	8.5±1.50

‘やぶきた’（罹病性）。

‘ゆたかみどり’（中度抵抗性）。

10枝条を供試し、各枝条の最上位の展開葉を第1葉として、第9葉まで接種した。

各葉にはそれぞれ2カ所接種。

7月22日～8月7日試験。

表-25 接種後における散水の影響

接種後散水までの時間	抵抗性の判定	病斑の形成
無散水	罹病性	
0時間（接種直後）	高度～中度抵抗性	中、強と判定されるものを含む
1時間	中度抵抗性	〃
2時間	中度抵抗性	〃
3時間	中度抵抗性	弱、中、強と判定されるものを含む
5時間	罹病性	〃
10時間	罹病性	一部中と判定されるもの有り
24時間	罹病性	〃
76時間	罹病性	病斑の拡大良好

供試品種：‘さえみどり’（抵抗性弱）。

10枝条供試し、1枝条当たり1枚の成葉に2カ所接種。

8月14日～8月17日接種、接種16日後に調査。

散水量は降雨量5mlに相当する水を10分間散水。

分生子濃度； 9×10^6 個/ml

7月13日に調査した試験区であった。罹病性品種‘やぶきた’への接種では、6月13日から9月17日接種までは正確に罹病性と判定されて問題はなかった。中度抵抗性品種の‘ゆたかみどり’では、6月29日から8月14日の接種時期までは正確に中度抵抗性と判断されたが、それ以外は中度抵抗性と正確に判断するのは困難であった。特に、6月の接種では病斑の拡大が不安定となり、時期によっては5mmに達しない場合も認められたが、このような場合、病斑の周囲が黒褐色のリングで囲まれているものが多く、このために病斑の拡大が抑えられていた。9月中旬以降の接種が不調であったのは気温の低下が考えられた。特に、試験を行った1995年は9月下旬に冷え込んだため平均気温が25℃、最低気温は20℃を下回った日が多かった(図-15)。

(7) 接種後の温度が病斑形成に及ぼす影響について検討した(表-27)。

罹病性品種‘ほくめい’を供試し、接種後15℃の温度

条件に置いた材料では接種時に付けた3mmの傷の周辺がわずかに褐変するだけで病斑は全く拡大しなかった。最も病斑が大きく拡大したのは25℃で、平均直径15.5mmとなりほぼ葉縁にまで達していた。20℃と30℃の場合、接種後16日目の病斑の大きさはそれぞれ6.8mmと8.5mmとなり病斑の大きさから判断した抵抗性は中度抵抗性となって正確に罹病性と判断できなかった。このようなことから、室内検定では25℃前後が最も適当と判断された。

3) 考察

品種の輪斑病抵抗性の評価を自然発病の状態での確に行うには発病が非常に顕著に現れる、いわゆる test year に恵まれないと難しい。また、耐病性育種を行うためには多くの材料を正確に、しかも効率よく検定することが必要である。輪斑病の人為接種検定法は安藤ら(1985a)、池田ら(1986)、築瀬・武田(1987)によって示されているが、

表-26 ほ場における接種時期別の病斑の大きさ(1995年)

試験期間 (接種日)(調査日)	やぶきた	ゆたかみどり	かなやみどり	平均気温	降雨日数
	mm	mm	mm	℃	日
5.15 ~ 6.1	9.6±1.30	6.2±0.80	3.3±0.49	20.5	8
6.1 ~ 6.17	9.6±1.56	4.7±0.81	4.7±0.42	21.3	7
6.13 ~ 6.29	11.7±2.00	3.6±0.62	3.0±0	22.2	11
6.19 ~ 7.3	11.3±1.80	6.1±1.86	3.4±0	22.9	12
6.29 ~ 7.13	15.3±1.98	9.9±1.53	3.8±0.90	25.8	5
7.26 ~ 8.11	15.1±1.40	8.8±1.15	4.2±0.55	27.8	2
8.14 ~ 8.30	14.4±1.81	8.3±1.53	4.5±0.70	28.4	3
9.17 ~ 10.3	11.2±2.09	4.7±0.98	3.0±0	22.8	4
9.25 ~ 10.9	9.1±1.16	4.1±0.10	3.0±0	21.9	6

‘やぶきた’(罹病性)、『ゆたかみどり’(中度抵抗性)、『かなやみどり’(高度抵抗性)。
10枝条供試し、1枝条当たり1枚の成葉に2カ所接種。

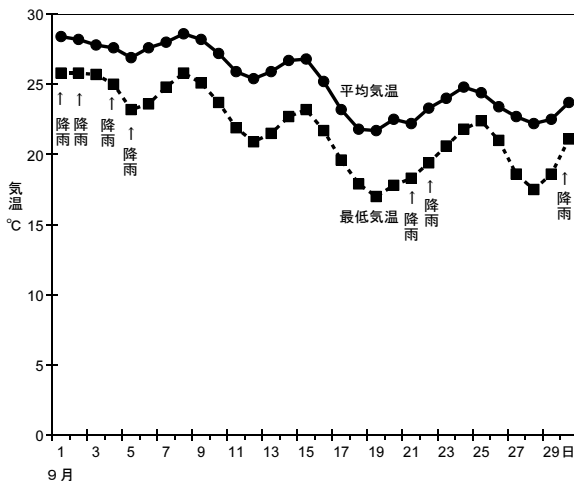


図-15 1995年9月の気温の推移

表-27 接種後の温度が病斑拡大に及ぼす影響

試験区	病斑の大きさ(mm)	抵抗性の判定
15℃区	3.0±0	高度抵抗性
20℃区	6.8±2.43	中度抵抗性
25℃区	15.5±0.85	罹病性
30℃区	8.5±0.34	中度抵抗性
圃場*	16.0±0**	罹病性

試験に供試した品種: ‘ほくめい’(罹病性)。

各試験区は鉢植えの2個体を供試し、任意に成葉10枚を選んで各葉2カ所に接種した。

接種16日目に調査。

* 対照としてほ場で8月12日~8月28日に試験を行った。

** 病斑がすべて葉縁まで達していた。

接種後の抵抗性の評価、接種源である分生子濃度、接種後の病斑拡大に及ぼす気温、降雨、接種葉の成熟度の影響などがほとんど明らかにされていなかった。このため品種間差は認められても抵抗性の評価には安定性が欠けていた。

ここでは人為接種検定法により品種・系統の輪斑病抵抗性を正確に評価するための接種条件について詳細な検討を行った。

輪斑病の人為接種では被検定品種の持つ本来の抵抗性を安定的に発現させることが重要である。発病に大きく関わる分生子濃度は $1 \sim 8 \times 10^6$ 個/ml 程度で満足の得られる病斑が得られた。実際の孢子濃度の調製では、顕微鏡下で分生子数を詳細に数えなくても 1 視野 (400 倍) 当たり 40 ~ 100 個程度以上の孢子が確認できれば十分である。

輪斑病菌の分生子は、発芽後自ら葉の表皮細胞を貫通して侵入することができないため (堀川, 1984 b; FAIL and LANGENHEIM, 1990), 接種では傷を付けて侵入させる必要がある。この付傷の大きさが病斑形成に影響を与えるが、1 mm 幅の傷では病斑形成が不安定で品種本来の抵抗性を判定するには問題があった。特に、中度抵抗性品種では、病斑の拡大が不十分で高度抵抗性と判定される危険性が大きかった。

抵抗性の判定は接種後 14 ~ 17 日が最も良好であった。20 日以上経過すると、罹病性品種では病斑は葉縁にまで達し、まもなく落葉するため調査が困難になる。

十分硬化していない葉では一般に病斑の形成は不十分であった。これは葉の生理的な影響も考えられるが、多くは接種葉が柔らかすぎるため接種器具で接種すると組織を破る格好で穴があき、このため分生子と葉組織との密着が悪くなって感染率が低下するのではないかと考えられた。福田・浜屋 (1983) も最上位の若い葉では病斑の拡大が悪いことを認めており、上から 3 ~ 6 葉が最も大きな病斑を形成したとしている。また、*P. longiseta* 菌の感染には、葉組織の壊死が必要であり、このために単なる穴が空いた状態では感染率が低いことが認められている (堀川, 1989, 1990)。

ほ場における接種では、通常は雨中での接種は行わないが、接種後の降雨はかなり頻繁に起こる。本試験では接種後 5 時間程度経過すれば問題ないことが認められたが、ここで行った散水処理は降雨強度にすると 30mm 程度になり、かなり強い雨に相当する。従って、5 ~ 10mm 程度の降雨強度であれば、接種から降雨迄の時間が更に短くても問題はないと思われる。しかし、ここでの試験は罹病性品種‘さえみどり’で得られた結果である。中度抵抗性品種の場合

にも 5 時間で十分かどうかについては検討の余地がある。降雨は *P. longiseta* 菌によって起こる新梢枯死症では側芽基部への感染を助長させるが、葉への感染には影響は小さいとされている (堀川, 1987 b)。

ほ場での接種は多量の材料を一度に効率よく検定するには非常に好都合であるが、屋外であることから正確な評価を阻害する様々な要因が考えられる。5 月上旬から 9 月下旬まで 9 時期について接種試験を行ったが、梅雨明け前後の 6 月下旬から 8 月中旬の接種が最も安定した病斑形成が行われた。‘やぶきた’のような罹病性品種では比較的長い期間検定可能であったが、中度抵抗性品種では小さな要因でも病斑の拡大が阻害され、高度抵抗性と判定される危険性が大きかった。中度抵抗性品種‘ゆたかみどり’についてみると、6 月 29 日から 8 月 14 日までの接種では正確な検定が可能であったが、6 月 1 日、あるいは 6 月 13 日の接種に見られるように、病斑が 5 mm にも達しない場合も認められた。このような場合、ほとんどの病斑は周囲に黒褐色のリングを形成し、病斑の拡大が阻止されていた。これは降雨などの影響で赤葉枯病菌 (*Glomeralla cingulata*) の感染が起こり輪斑病菌による病斑拡大が抑制されたものと思われた (安藤ら, 1985 b; 堀川, 1987 d)。

ほ場で分生子を接種して大量の検定を行うことは自然の生態系からは問題があることも考えられる。しかしながら、輪斑病菌は健全葉にも多数存在しており (成澤, 1986, 1988 a, b; 武田ら, 1988), また、赤葉枯病菌など輪斑病菌に拮抗する菌も多いことから (河野, 1965; 伊藤・成澤, 1988, 安藤・成澤, 1989 a, b), ほ場検定でもあまり問題はないと思われた。このようなことから、ここで行った輪斑病抵抗性の検定はほとんどほ場において行った。

P. longiseta 菌の増殖の最適温度は 25°C 前後であるが (堀川, 1982), 本試験で行った鉢植え茶樹への接種の場合でも 25°C で最も病斑形成が良好であった。30°C ではやや病斑の大きさが抑制されたが、これは人工気象器内に鉢植え茶樹を持ち込んで試験を行ったため、地下部も 30°C の高温に置かることになり活力が落ちて病斑の拡大が抑制されたことも考えられる。一方、低温が病斑形成に及ぼす影響では、15°C, 20°C では罹病性品種でもほとんど病斑が拡大しないことがわかった。このような低温の影響はほ場で最適接種時期の検討を行った 1995 年の試験でも認められている。接種日が 5 月 15 日 ~ 6 月 19 日の試験区では良好な接種結果が得られなかったが、これは病斑拡大期間に当たる接種後の約半月の平均気温が 20.5 ~ 22.9°C と低かったことが考えられる。

また、梅雨時期の降雨のために接種した傷口から赤葉枯病菌が侵入して輪斑病菌の病斑形成を抑制したことも一因と思われる(安藤, 1985 b, 安藤・成澤, 1989 a, b). 秋口の接種では、低温が最大の阻害要因になると考えられた。これについて接種日の気温と発病との関係調べた試験では、真夏の高温条件下では2～3時間内で発芽して侵入を開始し、潜伏期間は5～7日(浜屋・刑部, 1983), または7～10日(堀川, 1984 b)とされており、接種日の気温が高い方が発病率が高いことが認められている。このため、二番茶時期よりも三番茶時期の方が発病が多い(堀川, 1984 b)。このようなことから平均気温が25℃を超える梅雨明けから8月下旬頃までがほ場で輪斑病抵抗性の検定を行う適期と認められた。

以上の検討結果からチャの輪斑病抵抗性を評価するための人為接種検定法が確立され、これにより多数のチャ遺伝資源の輪斑病抵抗性の正確な評価が可能となった。

b 輪斑病抵抗性の評価とその変異

P. longisetata 菌に対するチャの輪斑病抵抗性では大きな品種間変異が認められている。輪斑病抵抗性育種を行うためには育種素材であるチャ遺伝資源の輪斑病抵抗性を明らかにする必要がある。

ここでは輪斑病抵抗性の評価を分生子の人為接種検定法を用いて行った。これによりアッサム種、中国種の輪斑病抵抗性の表現型を明らかにし、その結果をもとに変種間および変種内の系統群間の比較を行った。

1) 材料および方法

チャ遺伝資源2,480系統について、1系統当たり6～8枚の成葉にそれぞれ2カ所 *P. longisetata* 菌の分生子を接種し、14～16日目に病斑の大きさから抵抗性の程度を判定した。病斑の直径が5mm以下の場合を高度抵抗性、6～9mmの場合を中度抵抗性、10mm以上の場合を罹病性としたが、病斑の現れ方、色、形等も参考にして判断した。

2) 結果

チャ遺伝資源2,480系統(アッサム種;723系統, 中国種;1,757系統)の輪斑病抵抗性を表-28に示した。

アッサム種では98.9%に当たる715系統が高度抵抗性を示し、1.1%(8系統)が中度抵抗性であり、罹病性系統は認められなかった。

中国種では76.4%に当たる1,342系統が高度抵抗性を示し、中度抵抗性は217系統(12.4%), 罹病性は198

系統(11.3%)であった。しかしながら、中度抵抗性あるいは罹病性を示したのはほとんどが日本在来種であり、これを除くと中国種の輪斑病抵抗性は98.1%が高度抵抗性、中度抵抗性が1.2%(7系統), 罹病性が0.7%(4系統)でアッサム種と全く同様の傾向を示した(図-16)。

日本在来種およびヤマチャでは、高度抵抗性が65.7%, 中度抵抗性が17.8%, 罹病性が16.5%で高度抵抗性が過半数を占めたが、アッサム種、海外導入中国種と比べて中度抵抗性と罹病性の割合が高く、大きな違いが認められた。

日本在来種およびヤマチャの輪斑病抵抗性の程度を表-29に示した。

府県別にみると宮崎県の在来種・ヤマチャは高度抵抗性の割合が低く、41.9%であった。これは高度抵抗性割合の高い滋賀県(81.4%)の半分以下であった。また、同一県内の在来種とヤマチャの比較では、いずれもヤマチャの方がやや高度抵抗性割合が高かった。

地域別にみた輪斑病抵抗性の各階級値ごとの出現率を図-17に示した。

九州地方では中度抵抗性と罹病性の出現率がやや高く、それぞれ23.2%, 24.6%であった。九州地方の場合でも宮崎県を除くと中度抵抗性は19.9%, 罹病性は17.6%となり他の地域とはほぼ同程度の出現率となった。

3) 考察

P. longisetata 菌は *Rubus caesius* L. (オホナハシロイチゴ)の葉から最初に分離され、わが国ではチャの他にカキ、イヌマキ、オウトウ、ナシ、ビワなど11科、19種に寄生することが明らかにされている(日野, 1962; 堀川, 1987 a)。チャへの寄生では、*P. theae*菌に比べて品種間差が大きく、病原性が強いことが報告されている(浜屋・堀川, 1982; 安藤ら, 1985 a; 池田ら, 1986; 堀川, 1987 d)。*P. longisetata* 菌によって起こる輪斑病に対する抵抗性の評価から、日本在来種の中に中度抵抗性系統と罹病性系統がそれぞれ17.8%, 16.5%含まれていた。これに対し、アッサム種や海外から導入された中国種はほとんどが高度抵抗性を示し、罹病性は皆無に近いことから日本在来種・ヤマチャとは際だった違いが認められた。表現型から見た場合、98%以上が高度抵抗性を示すアッサム種と導入中国種の間には変種間での差異は認められなかった。*P. longisetata* 菌によるチャ輪斑病は日本以外では報告がなく日本特有の病害である(江塚・安藤, 1994)。日本の在来種・ヤマチャを地域ごとに見た場合、どの地域でも11～20%の割合で中度抵抗性系統および罹

表-28 チャ遺伝資源の輪斑病抵抗性

収 集 群	原 産 国	系 統 数	R	M	S
【アッサム種】 (var. <i>assamica</i>)					
Ai	インド	35	35		
Ak	インド	231	231		
IND	インド	70	69	1	
PKS	バングラディシュ	205	202	3	
SRL	スリランカ	50	46	4	
Boh	マレーシア	14	14		
BUM	ミャンマー	7	7		
Shan	ベトナム	16	16		
Aj	インドネシア	6	6		
台湾ヤマチャ	台湾	92	92		
合 計		723	715	8	0
【中国種】 (var. <i>sinensis</i>)					
Ch	中国	18	18		
Cp	中国	30	29	1	
Cm	中国	39	39		
Cn	中国	104	102	1	1
Ck	中国	73	70	2	1
Cy	中国	8	8		
Ca	中国	7	7		
Cd	インド	225	223	2	
Ct	台湾	24	24		
Kor	韓国	51	48	1	2
日本在来種	日本	1,178	774	210	194
合 計		1,757	1,342	217	198

輪斑病抵抗性：R（高度抵抗性）、M（中度抵抗性）、S（罹病性）。

日本在来種にはヤマチャを含む。

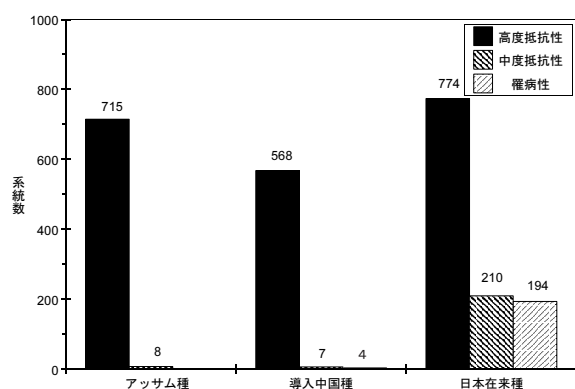


図-16 チャ遺伝資源の輪斑病に対する表現型

棒グラフ上の数字は系統数を表す。

病性系統が認められたが、これは *P. longisetata* 菌による病害が比較的最近まで重要病害ではなく、このためにこれによる特別な淘汰圧が働かなかったことから HARDY の平衡 (松尾, 1967) が働いたことも考えられる。

日本在来種とヤマチャを比較すると、ヤマチャの方が高度抵抗性の割合が高く、特に罹病性系統が少ない傾向

が認められた。地域別に見ると、九州の宮崎県、佐賀県では高度抵抗性系統の比率が50%を下回っていた。宮崎県では在来種・ヤマチャの215系統中57系統(26.5%)が中度抵抗性、68系統(31.6%)が罹病性を示し、わが国在来種の平均の1.5倍以上の高い比率を示した。宮崎県の場合、ほぼ全県下の18カ所から収集しており、特定の茶園から収集したことによる偏りとは考えにくい。このため比較的狭い地域で見るとこのような地域による頻度分布の偏りも認められた。

わが国の煎茶用農林登録品種は2000年8月現在33品種あるが、このうち高度抵抗性品種が16品種、中度抵抗性品種が2品種、罹病性品種が15品種あり、罹病性品種の割合が高い。特に、‘やぶきた、あさつゆ、さえみどり、おくゆたか’など主要品種に罹病性が多く、わが国の全茶園面積の80%近くが罹病性品種で占められている。このため優良な輪斑病抵抗性品種育成の意義は大きい。

品種・系統の炭疽病抵抗性と輪斑病抵抗性をみると、アッサム種は炭疽病、輪斑病ともにほとんどの系統が抵抗性を示した。中国種でも中国導入種あるいはインドの

表-29 日本在来種、ヤマチャの輪斑病抵抗性

県名	収集茶園数	系統数	R	M	S
秋田	1	2	2		
新潟	2	15	15		
福井	3	15	9	6	
茨城	4	25	16	5	4
埼玉	6	26	22	2	2
静岡	5	8	7	1	
三重	6	50	32	11	7
奈良	6	64	39	16	9
滋賀	5	59	48	5	6
京都	12	288	214	43	31
兵庫	4	8	4	4	
広島	1	4	3		1
島根	2	5	4		1
岡山	1	2	2		
愛媛	3	25	19	1	5
高知	7	46	32	7	7
高知ヤマチャ	5	28	22	4	2
徳島	3	53	36	4	13
福岡	5	60	42	8	10
福岡ヤマチャ	8	24	19	4	1
佐賀	6	31	14	7	10
長崎	2	22	9	4	6
長崎ヤマチャ	1	7	5	1	2
大分ヤマチャ	8	15	13	2	
熊本	1	7	2	2	3
熊本ヤマチャ	6	13	11	2	
宮崎	15	194	71	53	68
宮崎ヤマチャ	3	21	19	4	
鹿児島	9	61	41	14	6
合計	141	1,178	774	210	194

R (高度抵抗性), M (中度抵抗性), S (罹病性).

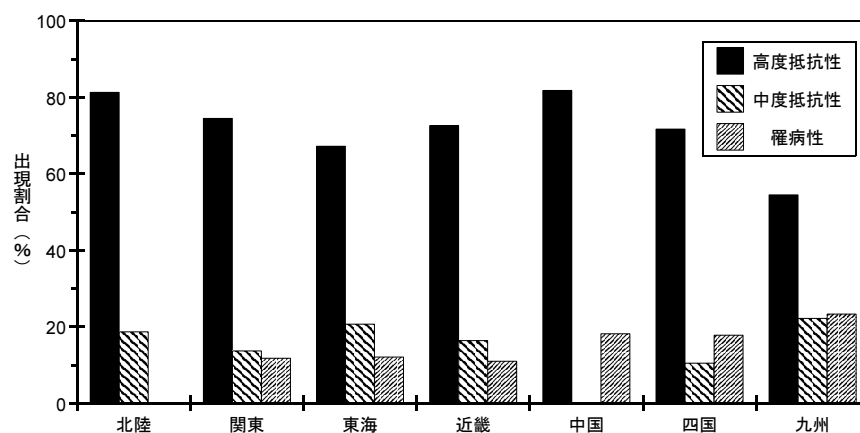


図-17 地域別にみた日本在来種およびヤマチャの輪斑病抵抗性に対する表現型

北陸 (秋田, 新潟, 福井), 関東 (埼玉, 茨城), 東海 (静岡, 三重) 近畿 (奈良, 滋賀, 京都, 兵庫), 中国 (広島, 島根, 岡山), 四国 (愛媛, 高知, 徳島), 九州 (福岡, 佐賀, 長崎, 大分, 熊本, 宮崎, 鹿児島)

ダージリン系統群 (Cd) は輪斑病、炭疽病ともに抵抗性のものが多かった。しかしながら、両病害に対して変異の大きい日本在来種およびヤマチャでは、両病害間の抵抗性に関して相関は全く認められず、両病害抵抗性は互いに独立であった (築瀬ら, 1984)。これは高品質で輪斑病、炭疽病複合抵抗性品種を育成することが可能であることを示しており、その育種素材としてアッサム種だけでなく海外から導入した中国種も有望であることが明らかになった。

4 要約

わが国のチャ遺伝資源について生理生態的特性として耐凍性、炭疽病抵抗性および輪斑病抵抗性の形質を取り上げ、特性評価を行って遺伝資源が持つ変異の大きさを明らかにし、チャの種内分類への指標と育種への有用性について検討した。

わが国チャ遺伝資源の耐凍性を「植物遺伝資源特性調査マニュアル (5)」(農業生物資源研究所, 1992) に従って評価し、階級値 2 (極弱) から 8 (極強) の 7 段階で分類した。アッサム種は階級値 3 ~ 4 (弱 ~ やや弱)、中国種は階級値 6 ~ 7 (やや強 ~ 強) に最も多く分布し、耐凍性は二変種間で 2 ~ 3 ポイントの大きな差が認められた。

チャの炭疽病抵抗性の遺伝力はかなり高く、広義の遺伝力は 0.73 ~ 0.86 と推定された。チャ遺伝資源の炭疽病抵抗性は、アッサム種、導入中国種ではほとんどが抵抗性を示したが、中国湖北省の材料 (Ch 系統) と韓国の材料の一部に中程度の抵抗性のものが含まれていた。

これに対して、日本の在来種は抵抗性の階級値で 7 (強) が 53.4%、抵抗性 6 (やや強) が 18.2%、抵抗性 5 (中) が 17.0%、抵抗性 4 (やや弱) が 6.0%、抵抗性 3 (弱) が 5.5% を占め極めて変異が大きかった。日本在来種の抵抗性を収集地域別にみると、京都府などの近畿地方の材料の変異が大きく、この地域では抵抗性 5 (中) の比率が最も高かった。これに対して、南九州 (鹿児島県、宮崎県) の材料は抵抗性 7 (強) の比率が高く、約 85% を占めた。これは南九州はチャの生育期間が長く、また、気温が高くて雨量が多いことから炭疽病の発生に好適な環境にあるため、在来種の長い栽培の過程で炭疽病に弱いものが淘汰された可能性が考えられた。

近年チャに大きな被害を与えるようになった *P. longisetata* 菌による輪斑病は、品種間差異が大きく、従来の *P. theae* 菌に比べて病原性が強いことから抵抗性品種育成の必要性が大きくなった。そこで、抵抗性育

種における選抜の効率化を図るため輪斑病菌分生子による人為接種検定法について詳細な検討を行った。

接種源となる分生子の濃度は 10^6 個/ml 程度でよく発病し、高度抵抗性、中度抵抗性、罹病性の品種間差異を検定できた。人為接種検定を行う時期は平均気温が 25°C 以上が適期であり、南九州では梅雨明け後の 7 月から 8 月がよく、それ以前では低温と梅雨時の降雨の影響、9 月以降は気温の低下が大きな阻害要因となった。人為接種後の降雨が発病に及ぼす直接的な影響は大体接種後 5 時間程度までであった。接種後の病斑の大きさによる抵抗性の判定は、接種後 14 ~ 17 日が適当であった。また、病斑の大きさによる抵抗性の判定は、高度抵抗性では付傷時の傷も含めて 5 mm 以下、中度抵抗性は 6 ~ 9 mm、罹病性は 10 mm 以上であったが、ほ場では毎回多少条件が異なることから常に対照品種と比較しながら検定を行うことにより正確な判定が可能となった。

チャ遺伝資源の *P. longisetata* 菌による輪斑病抵抗性は、アッサム種では 98% 以上が高度抵抗性を示した。中国種では、中国およびインドから導入した材料はアッサム種と同様に 98% が高度抵抗性を示したが、日本在来種、ヤマチャでは中度抵抗性が 18%、罹病性が 16% 認められるなどアッサム種、導入中国種に比べて著しく変異が大きかった。また、輪斑病抵抗性のこの比率は、わが国の茶栽培地域間で大きな違いが認められなかったことは、輪斑病は炭疽病と異なり新しい病害であることを証明しており、そのために在来茶園に対して大きな淘汰圧として作用しなかった結果と考えられた。

IV チャの葉内化学成分の変異とその育種への利用

チャはカフェインなどのプリンアルカロイドを含み、(一) - エピガロカテキンガレート, (二) - エピカテキンガレートなどのエステル型カテキン, アミノ酸の一種であるうま味成分のテアニンなどチャ特有の成分を持っている (永田, 1986)。中国を始めその周辺の諸国には色々な茶の種類と飲み方が存在するが、茶は大きく分けて緑茶類の不発酵茶と紅茶に代表される発酵茶および両者の中間に位置するウーロン茶などの半発酵茶に大別される。どのような種類の茶葉であっても不発酵茶の緑茶から発酵茶の紅茶まで作ることが出来るが、それぞれの茶にはそれに適した品種・系統がある。これらの茶種への適性は主にチャの葉に含まれる成分やそれらに作用して茶の品質を大きく左右する酸化酵素類等が密接に関係

する。チャを特徴づける成分としてカフェインとカテキンがある。カフェインは茶の味に対しては苦味の作用がある。カフェインを含む植物はコーヒー (*Cofe arabica*, 1 ~ 2%), カカオ (*Theobroma cacao*, 0.3%, 他に前駆体のテオブロミンが2%), ガラナ (*Cola nitida*, 1 ~ 2%), マテ (パラグアイ茶, *Ilex paraguariensis*, 0.2 ~ 2%) など非常に限定されており, いずれも古くから嗜好品として利用されている (中林ら, 1991)。

一方, チャに含まれるポリフェノールの中で最大の成分はカテキンである。チャでは現在 20 種類以上のカテキンが確認されているが, 特に, 遊離型カテキンである (–) –エピカテキン ((–)-Ec), (–) –エピガロカテキン ((–)-EGC) とエステル型カテキンの (–) –エピカテキンガレート ((–)-Ecg), (–) –エピガロカテキンガレート ((–)-EGCG) の 4 種類のカテキンが最も多く, チャの総カテキン量の 90% 以上を占める (中林, 1991)。この中で, エステル型カテキンはチャに特有の成分であり, チャの苦味, 渋味に深く関わっている成分である (中川, 1970 a, b; 永田, 1986)。これら茶の味に深く関与するカフェインとカテキンの含有率は品種間で大きな差異があること, また, アッサム種では多く, 中国種では少ないなどの研究がこれまで多数行われているが, チャ全体の中でどの程度の変異があるのかについては十分な検討が行われていない。

これらの成分はチャの機能性成分として最近注目を集めており, チャの育種においてもこれらの成分に着目した成分育種が今後の重要な育種目標になっている。

ポリフェノール成分では, アントシアニンも注目されている。チャには新芽が赤褐色をした紅花 (べにばな) チャと呼ばれる系統があり, アントシアニン含有率が高いことが明らかになっている (武田・根角, 1996)。チャの花の色は通常白色であるが, 紅花チャは紅色の花色が特徴である。今後, チャにおいてもアントシアニン高含有系統の育成が必要になる。この場合, 選抜の指標として紅色花の色は有効な形質であることから, その遺伝様式の解明は育種効率を大幅に向上させる。

そこで, 本章ではわが国のチャ遺伝資源が持つこれらチャの有用成分の変異を明らかにし, それに基づいてチャの種内分類を検討するとともに, わが国のチャ遺伝資源を利用した成分育種の可能性について検討した。

1 チャ遺伝資源のカフェイン含有率の変異と低カフェイン育種素材の選抜

中国で茶が利用され始めて以来 3000 年以上の歴史が

あるが, 今日まで嗜好飲料として茶が利用され続けている理由としてカフェインの存在が大きい。茶以外にも嗜好飲料として古くから利用されているものにコーヒー, ココア, コーラ, マテ茶などがあるが, いずれもカフェインが含まれている (中林, 1991)。これらの飲み物が世界の離れた場所で互いに独立して発見され, 利用され続けてきたところにカフェインの嗜好性あるいは習慣性としての意味がある。カフェインの茶の味への貢献は苦味であり, 茶の味はカテキン, アミノ酸およびカフェインなどの微妙なバランスの上に成り立っている。

最近では粉末茶の利用が急速に拡大したが, これは茶の成分をまるごと摂取することになるためカフェインの取りすぎが懸念される。また, カフェインに対する感受性は個人差が大きく, 老人, 幼児なども刺激の少ない低カフェイン茶 (チャ) を必要としており, 需要は大きい。

そこで, 本節ではチャ遺伝資源のカフェイン含有率を分析し, 変種間および変種内変異を明らかにする。また, チャ遺伝資源の中から検索された低カフェイン系統を利用した低カフェイン育種素材の可能性について検討した。

a 材料及び方法

供試材料はアッサム種 512 系統, 導入中国種 319 系統, 日本在来種, ヤマチャ 703 系統, 合計 1,534 系統について一番茶時期に新芽を採取し, 直ちに蒸熱後, 乾燥してカフェイン分析試料とし, 池ヶ谷ら (1992) の方法により高速液体クロマトグラフ (HPLC) で分析した。

また, 低カフェイン系統として選抜した日本在来種 5 系統 (在 17-1, 在 81-8, 在 133-2, 在 133-3, 在 116-1) と中国導入種 'Cm22' を煎茶品質が優良な 'やぶきた' あるいは 'さえみどり' に交配し, その F₁ 個体についてカフェイン含有量を HPLC で分析した。

b 結果

1) カフェイン含有率の変異

アッサム種, 導入中国種および日本在来種・ヤマチャの一番茶新芽中のカフェイン含有率の頻度分布を図-18 に示した。

チャ遺伝資源全体のカフェイン含有率は 1.64 ~ 5.46 % まで大きな変異が認められた。また, アッサム種で含有率が高く, 中国種は低いことが明瞭に認められた。中国種の中では日本在来種・ヤマチャが中国, インドから導入した導入中国種よりも少なく, 同一変種内でも明らかな差異が認められた。アッサム種は 4.0 ~ 4.5% を中心に 2.67 ~ 5.46% の範囲に分布し, 平均 4.09% であ

た。中国、インドからの導入中国種は、平均 3.11% で 3.0 ~ 3.5% を中心に 1.64 ~ 4.60% の範囲に分布した。日本在来種は最もカフェイン含有率が低く、1.85 ~ 3.87% まで分布したが、過半数の 57% の系統は 2.5 ~ 3.0% の範囲に含まれ、平均 2.66% であった。

5% 以上の高カフェイン系統としてインド原産の 1 系

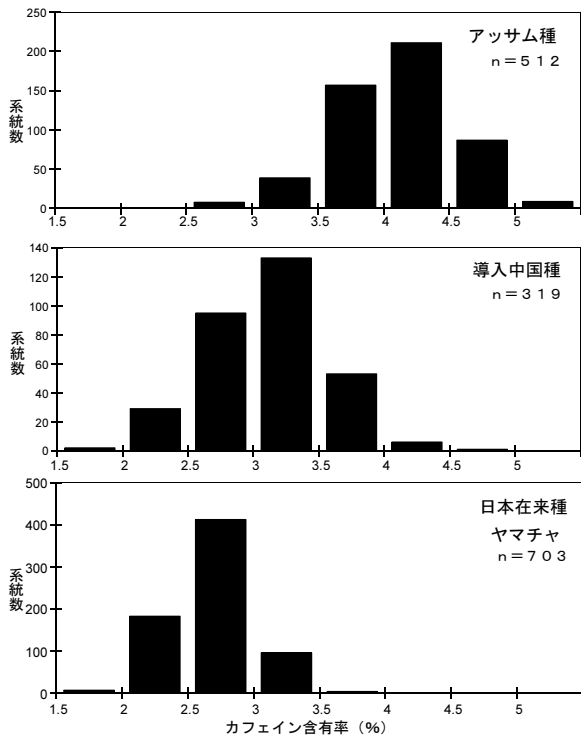


図-18 チャ遺伝資源のカフェイン含有率の変異

統、バングラディッシュ原産の 5 系統、スリランカ原産の 3 系統を選抜した (表-30)。

一方、2% 未満の低カフェイン系統は中国江西省原産の 1 系統 (Cm22) と日本在来種の在 17-1 (静岡県)、在 81-8, 在 146-23 (以上京都府)、在 116-1 (新潟県)、在 133-2, 在 133-3 (以上徳島県)、在 138-14 (宮崎県) の 7 系統、合計 8 系統を選抜した (表-30)。

2) 低カフェイン育種素材の開発

低カフェイン系統としてチャ遺伝資源から選抜した 6 系統を花粉親とし、‘やぶきた’、‘さえみどり’に交配して育成した実生集団について、組合せごとのカフェイン含有率および 2% 未満の低カフェイン個体数を表-31 に示した。

6 組合せ、311 個体から 17 個体が 2% 未満の低カフェイン個体として選抜された。2% 未満の低カフェイン個体出現率は平均 5.5% で、最も高かった組合せは‘さえみどり’×‘在 133-2’の 13.8% であった。選抜個体のうち、最もカフェイン含有率が低かったのは‘やぶきた’×‘在 17-1’の組合せから得られた個体で、1.56% であった。低カフェインとして選抜された 2% 未満の個体は大部分が 1.8 ~ 2.0% の範囲にあった。

2 チャ遺伝資源のカテキン含有率の変異と高カテキン中間母本の育成

チャのカテキンは微量なものまで含めると 20 種以上

表-30 チャ遺伝資源から選抜された高カフェイン系統および低カフェイン系統

カフェイン	原産国・収集地	系統名	カフェイン含有率 %
高い系統 (5% 以上)	インド・Devarshora	IND113	5.46
	バングラディッシュ・Sylhet	PKS96	5.44
	バングラディッシュ・Sylhet	PKS224	5.46
	バングラディッシュ・Sylhet	PKS274	5.04
	バングラディッシュ・Sylhet	PKS283	5.25
	バングラディッシュ・Sylhet	PKS423	5.38
	スリランカ・Candy	SRL17	5.02
	スリランカ・Candy	SRL19	5.04
	スリランカ・不明	SRL85	5.43
	低い系統 (2% 未満)	中国・安徽省	Cm22
日本・静岡県		在 17-1	1.96
日本・京都府		在 81-8	1.88
日本・新潟県		在 116-1	1.93
日本・徳島県		在 133-2	1.96
日本・徳島県		在 133-3	1.94
日本・宮崎県		在 138-14	1.85
日本・京都府		在 146-23	1.96

が確認されている(中林, 1991)。チャのカテキンには抗酸化性(松崎・原, 1985; NAMIKI and OSAWA 1986)をはじめ多くの機能が明らかにされてきたために、高カテキンチャに対する要望が大きくなっている。しかしこれまでのわが国の育種は煎茶用品種が中心であったため、渋味に関係する高カテキン形質は淘汰の対象になっていた。この結果、現在の多くの育種素材では新しい育種目標である高カテキン形質に対して十分な対応が出来ない。そこで、チャ遺伝資源についてカテキン含量の評価を行い、変種間および変種内変異を明らかにするとともに特徴ある高カテキン系統については育種素材化する必要がある。

本節ではチャ遺伝資源についてカテキン含量の分析を行うとともに、高カテキンで選抜した系統、‘IND113’について高カテキン育種素材の中間母本としての検定を行った。

a 材料および方法

供試材料はアッサム種 506 系統, 導入中国種 306 系統, 日本在来種, ヤマチャ 680 系統, 合計 1,492 系統である。これらの材料は一番茶時期に新芽を採取後、直ちに蒸熟、乾燥し、分析試料として調製した。茶のタンニンはほとんどがカテキンであるため(中川, 1970 b), ここでは分析が容易な岩浅ら(1970)の方法によりタンニンとして分析した。

高タンニンとして選抜した系統, ‘IND113’を花粉親とし、種子親に耐寒性の強い日本在来種, ‘NN27’と‘かなやみどり’を用いて交雑を行い、それぞれのF₁分離集団についてカテキン分析を行って、‘IND113’の高カテキン(タンニン)特性の後代検定を行った。

b 結果

1) チャ遺伝資源のカテキン含有率の変異

チャ遺伝資源の一番茶新芽中のタンニン含有率の変異

を図-19に示した。

タンニン含有率もカフェインと同様にアッサム種で高く、中国種で低いなど変種間で明瞭な分布の違いが認められた。中国種の中では、日本在来種は中国本土の系統群およびインド・ダージリンのCd系統群を含む導入中国種よりも低かった。アッサム種は17.5~20.0%を中心に11.69~26.82%まで極めて広い範囲にほぼ正規分布し、平均含有率は19.39%であった。日本在来種を除く導入中国種では平均16.27%で、15.0~17.5%を中心に11.32~21.61%の範囲に分布した。また、日本在来種は12.5~15.0%を中心に9.37~20.0%まで分布したが、アッサム種、導入中国種のグループに比べて最もタンニン含有率が低く、その分布域も狭かった。

タンニン含有率が25%を超えた高タンニン系統はい

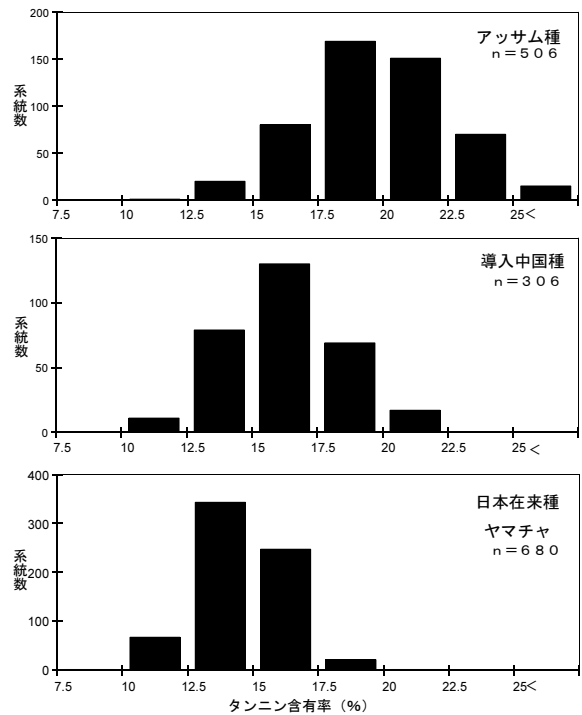


図-19 チャ遺伝資源のタンニン含有率の変異

表-31 低カフェイン系統を花粉親とした交配組合せにおけるF₁個体の一番茶平均カフェイン含有率と低カフェイン個体の出現率

種子親	花粉親	F ₁ 個体数	カフェイン含有率 %	2%未満 個体数	同左出現率 %
やぶきた (2.95)	在 17-1 (1.96)	76	2.40±0.23	4	5.2
やぶきた (2.95)	在 81-8 (1.88)	31	2.49±0.33	2	6.5
さえみどり (2.65)	在 116-1 (1.93)	70	2.48±0.26	3	4.3
さえみどり (2.65)	在 133-2 (1.96)	29	2.29±0.23	4	13.8
さえみどり (2.65)	在 133-3 (1.94)	58	2.45±0.18	1	1.7
さえみどり (2.65)	Cm22 (1.89)	47	2.36±0.23	3	6.4

() 内はカフェイン含有率 (%)。

いずれもアッサム種で、インド原産の4系統、バングラディッシュ原産の6系統、マレーシア原産の2系統および台湾原産の台湾ヤマチャの4系統、合計16系統であった。一方、10%未満の低タンニン系統として日本在来種の1系統、在88-23（滋賀県）が選抜された（表-32）。

2) 高カテキン品種育成のための中間母本の作出

タンニン高含有系統として選抜された系統の中でインドから種子で導入をして育成した‘IND113’は生育が良く、特有な花香をもつが耐寒性が弱いために栽培適地が限定される。このためタンニン高含有系統育成の中間母本として利用を図るために後代検定を行った。

‘NN27’および‘かなやみどり’を種子親にし、高カテキン系統‘IND113’を花粉親とした交配によって得られたF₁個体についてカテキンとカフェイン含有率の平均を表-33に、カテキン含有率の頻度分布を図-20に示した。

種子親となった日本在来種由来の‘NN27’と‘かなやみ

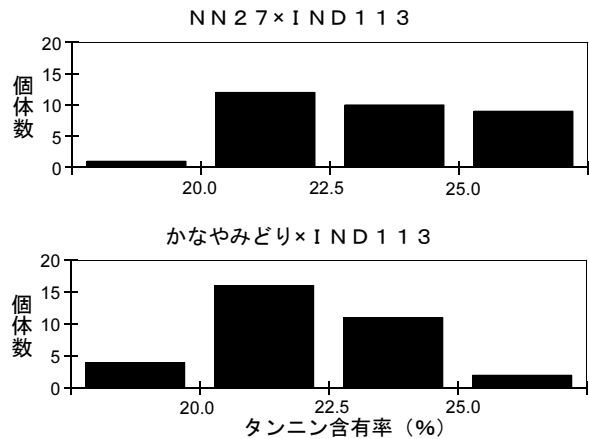


図-20 高タンニン系統‘IND113’を交配親としたF₁世代のタンニン含有率

交配親として用いた品種・系統のタンニン含有率；
 ‘IND 113’ 25.28%
 ‘NN 27’ 14.50%
 ‘かなやみどり’ 14.06%

表-32 チャ遺伝資源から選抜された高タンニンおよび低タンニン系統

タンニン	原産国・収集地	系統名	タンニン含有率 %
高い系統 (25%以上)	インド・Darjeeling	Ak568	25.41
	インド・Upasi	IND8	25.68
	インド・Upasi	IND18	25.90
	インド・Devarshora	IND113	25.36
	バングラディッシュ・Sylhet	Pks97	25.95
	バングラディッシュ・Sylhet	Pks116	25.96
	バングラディッシュ・Sylhet	Pks250	26.82
	バングラディッシュ・Sylhet	Pks349	25.76
	バングラディッシュ・Sylhet	Pks411	25.25
	バングラディッシュ・Sylhet	Pks438	25.12
	マレーシア・KualaLumpur	Abo2	26.22
	マレーシア・KualaLumpur	Abo21	26.00
	台湾・高雄県	台湾ヤマチャ 23	25.36
	台湾・高雄県	台湾ヤマチャ 71	25.68
	台湾・高雄県	台湾ヤマチャ 81	25.30
	台湾・高雄県	台湾ヤマチャ 95	25.30
低い系統 (10%未満)	日本・滋賀県	在 88-23	9.37

表-33 IND113を花粉親としたF₁個体のタンニンおよびカフェイン含有率

種子親	花粉親	F ₁ 個体数	タンニン %	カフェイン %
NN27	IND113	32	23.15±1.16	4.11±0.12
かなやみどり	IND113	33	22.23±1.49	4.09±0.15
IND113 (比較品種)			25.28±1.14	5.63±0.15
NN27 (比較品種)			14.50±1.30	2.75±0.14
かなやみどり (比較品種)			14.06±1.10	2.96±0.21

どり'のタンニン含有率は14%台であったが、'IND113'との交配によって得られたF₁のタンニン含有率は、'NN27'との組合せでは23.15%、'かなやみどり'との組合せでは22.23%を示し、両親の中間よりも花粉親となった'IND113'に近い値をとった。

タンニン含有率別にみた頻度分布では、25%以上の高タンニンを示した個体は'NN27'との組合せでは9個体(出現率28.1%)、'かなやみどり'との組合せでも2個体(出現率6.1%)認められた。これにより'IND113'の高タンニン特性は後代に高い確率で遺伝することが確認されたため、高カテキン品種育成の中間母本として1998年に'MAKURA 1号'と命名し、農林登録を行った(茶中間母本農3号)。

3 カフェイン含有率とタンニン含有率によるチャの変種間分類

アッサム種および中国種に属する主要な系統群について本章の第1, 2節で分析したカフェインとタンニンの含有率の平均値を表-34示した。

タンニン含有率はアッサム種の中ではAi系統群(インド)が低く、導入中国種のCp, Ck(以上中国), Cd

(インド・ダージリン)の各系統群と大きな差が認められなかったが、その他のアッサム種の系統群は18.69~20.84%の範囲に分布し、明らかに中国種とは区分された。カフェインはアッサム種と中国種では収集群の平均値でみると重なりがなく、明瞭に両変種を分類出来た。

中国本土の材料ではタンニンとカフェインの両成分ともにCkとCpの系統群が高く、日本在来種では京都の在来種が両成分ともに高かった。

表-34をもとにタンニン含有率を縦軸に、カフェイン含有率を横軸にして各収集群のカフェイン含有率とタンニン含有率をプロットし、アッサム種と中国種の分類を試みた(図-21)。

図-21にみられるように、カフェインとタンニンの2成分を使って二次元に展開すると、アッサム種と中国種は明瞭に分類できた。また、中国種の中では日本在来種と導入中国種(中国本土の収集群およびインドのCd系統群)が分けられた。日本在来種と導入中国種との境界は、タンニン含有率では15%、カフェイン含有率では2.7%前後であった。中国種の中ではインドのダージリン系統群(Cd)のカフェイン含有率が高く、アッサム種と中国種の間分布した。また、中国本土の材料で

表-34 主要な収集群におけるタンニンとカフェインの平均含有率

系統群	国名	系統数	タンニン含有率	カフェイン含有率
【アッサム種】 (var. <i>assamica</i>)			%	%
Ai	インド	26	16.29±2.42	4.05±0.55
Ak	インド	131	18.69±2.66	4.00±0.45
IND	インド	49	20.42±2.19	4.02±0.50
PKS	バングラディシュ	157	20.40±2.41	4.24±0.20
SRL	スリランカ	40	20.84±2.72	4.29±0.30
台湾ヤマチャ	台湾	76	19.89±2.45	4.02±0.34
【導入中国種】 (var. <i>sinensis</i>)				
Cp	中国	24	16.50±3.50	3.09±0.25
Cm	中国	30	15.69±3.72	2.90±0.39
Cn	中国	87	15.18±3.48	2.81±0.43
Ck	中国	49	17.35±1.96	3.11±0.38
Cd	インド	111	16.49±2.22	3.35±0.39
【日本在来種】 (var. <i>sinensis</i>)				
茨城	日本	21	13.83±1.34	2.62±0.33
三重	日本	32	14.12±1.49	2.62±0.30
滋賀	日本	40	13.70±1.77	2.61±0.26
奈良	日本	42	14.21±1.30	2.64±0.26
京都	日本	236	15.23±1.47	2.72±0.27
徳島	日本	42	13.50±1.15	2.56±0.32
高知	日本	22	13.86±1.88	2.51±0.24
福岡	日本	37	15.02±1.37	2.62±0.24
宮崎	日本	91	14.56±1.50	2.77±0.34
鹿児島	日本	22	15.08±1.60	2.72±0.25

は Ck, Cp 系統群が両成分ともに高かった。日本在来種は両成分ともにに差異が小さく、特に、カフェイン含有率の差異が小さいことがわかった。

カフェインはアッサム種と中国種の各収集群との間で含有率において重なりがなく、両変種を分ける基準として非常に有効な成分であることが分かった。

タンニン含有率はアッサム種に分類した Ai 系統群（インド）の平均含有率が低かったためアッサム種全体の変異が大きくなったが、これを除くとアッサム種のタンニン含有率は 19～21% の範囲に収まって中国種とは明瞭に区分された。

4 チャの紅色花色の遺伝様式の解明

チャには紅花（べにばな）チャという薄い紅色の花を咲かせるチャの系統がある。この新芽は強い赤紫から紫褐色を呈し、多くのアントシアニンを含んでいる。

このため紅色の花色を持つ系統は高アントシアニン系統の選抜指標になることからこの花色の遺伝様式を解析した。

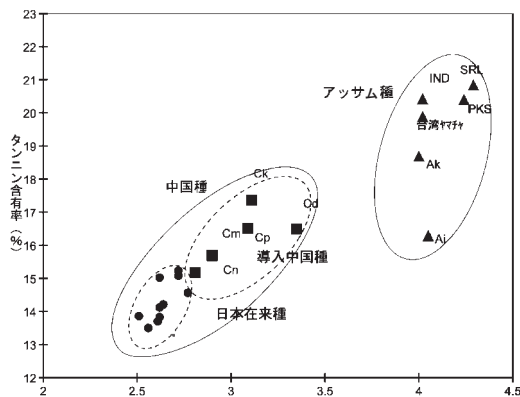


図-21 カフェイン含有率とタンニン含有率による主要系統群の分類

アッサム種：IND, Ak, Ai (以上インド), PKS (バンガラディシュ), SRL (スリランカ), 台湾ヤマチャ (台湾)。

導入中国種：Cd (インド), Ck, Cp, Cm, Cn (以上中国)。

日本在来種：茨城県, 三重県, 滋賀県, 奈良県, 京都府, 徳島県, 高知県, 福岡県, 宮崎県, 鹿児島県。

a 材料および方法

‘やぶきた’ (白花), 紅花チャ (紅花), ‘やぶきた’ × 紅花チャ F₁ の 2 系統 (No. 8 と No. 9, いずれも白花) を供試して相互に交雑を行い、交雑後代の花色の分離比から紅花チャの花色の遺伝様式を解析した。また、紅花チャは赤い根を持つことから花色との関係についても調査した。なお、ここで用いた紅花チャは枕崎系の紅花チャである。

b 結果

チャの紅色花色と根の紅色との関係を表-35 に示した。花色と根の色との関係では、紅色の花色を咲かせる個体はいずれも根が赤く、花色と根色との間には密接な関係のあることが認められた。これにより実生個体の花色の色は発芽後の種子根で容易に判定できることが分かった。種子根は伸び始めの 1～2 カ月はやや色が薄いですが、発根後 2 カ月以上経過すると紅色が強くなり判定が容易になった。

各交配組合せによって得られた実生個体の花色の分離を表-36 に示した。

いずれの組合せでも花色は白か紅色の 2 つの花色に分かれ、中間の花色は出現しないことから花卉の紅色は単純劣性遺伝子 (*r*) の劣性ホモ (*r/r*) で発現すると仮定し、各組合せの花色の分離比を χ^2 検定により適合度を求めた。その結果、どの組合せでもよく理論比に適合する結果が得られたことから、チャの紅色の花色は劣性遺伝子 (*r*) が劣性ホモ、すなわち *r/r* の遺伝子型で発現することが明らかになった (表-36)。

遺伝子型とそれに対応する表現型を表-37 に示した。

表現型が白色の花色を示す場合、その遺伝子型は *+/+* あるいは *+/r* となる。これにより紅色の花色を持った紅花チャを交配により理論的に作出することが可能となった。

5 チャの成分育種に関する一考察

カフェインはプリンアルカイドの一種で中枢神経興奮、

表-35 チャの花色と根色の関係

来歴	根の色	個体数	紅花	白花
紅花チャ×紅花チャ	紅	31	31	0
紅花チャ自然交雑実生	白	57	0	57
	紅	2	2	0
5 品種の自然交雑実生*	白	350	0	350

供試した紅花チャの系統は枕崎系紅花チャ。

* 自然交雑実生の種子親は ‘やぶきた, やえほ, おくみどり, かなやみどり, やまとみどり’。

表-36 紅花チャおよび紅花チャ後代を交配親とした交配組合せF₁の花色の分離

交配組合せ (花色)	個体数	赤花	白花	期待分離比	P (χ^2)
紅花チャ (紅色) × 紅花チャ (紅色)	31	31	0	1 : 0	— (0)
紅花チャ (紅色) × (やぶきた × 紅花チャ) No. 8 (白色)	65	35	30	1 : 1	0.5 < P < 0.6 (0.38)
(やぶきた × 紅花チャ) No. 8 (白色) × 紅花チャ (紅色)	130	58	72	1 : 1	0.2 < P < 0.3 (1.51)
(やぶきた × 紅花チャ) No. 8 × (やぶきた × 紅花チャ) No. 9 (白色)	72	15	57	1 : 3	0.4 < P < 0.5 (0.67)
やぶきた (白色) × 紅花チャ (紅色)	17	0	17	0 : 1	— (0)
紅花チャ (紅色) × やぶきた (白色)	25	0	25	0 : 1	— (0)

供試した紅花チャは枕崎系。

χ^2 値が0の場合は適合していることが明白なため検定を行わなかった。

眠気防止, 強心, 利尿, 代謝促進など多くの生理機能があるが, カフェインに対する反応の強さには個人差が大きい。このためコーヒーなどと同様に低カフェイン茶への要求も大きいものがある。低カフェイン茶の製造法も開発されているが(小泉ら, 1993), 熱湯に37秒程度浸漬してカフェインを先に浸出させた原料を製茶加工するため品質が大きく劣化しやすい(津志田・村井, 1985)。中国でも特殊な膜処理によりカフェインを80%除去したインスタントティの技術開発が行われているが実用化には至っていない(HUNG *et al.*, 1993)。このため低カフェイン品種育成に対する期待は大きい。

チャ遺伝資源について一番茶のカフェイン含有率をみると, アッサム種と中国種は3.5~4.0%を境界に明瞭に分けられた。また, 中国種に属する導入中国種(中国大陸の系統群およびインドのダージリン産のCd系統群)と日本在来種(ヤマチャを含む)を比較すると, 前者が高く, その境界は大体2.7%前後であった。その結果, カフェイン含有率はアッサム種, 導入中国種, 日本在来種の順に低下し, 原産地が東進するにつれて低下する一種の性質傾斜が認められた。タンニン含有率の場合も, カフェインと全く同様の傾向が認められた。この2種の成分を指標に分類すると図-21に見られるようにアッサム種, 導入中国種, 日本在来種が2次元で明瞭に分類できた。

中国本土の系統群ではCpとCkがタンニン, カフェイン含有率がともに高かった。これらの収集群は成葉の葉長, 葉幅でも中国種の中では大きく, 花器形態による主成分分析あるいはクラスター分析でもややアッサム種

表-37 花色の表現型と遺伝子型

表現型	遺伝子型	対応する品種・系統
白色	+/+	やぶきた
白色	+/r	(やぶきた × 紅花チャ) No. 8 (やぶきた × 紅花チャ) No. 9
紅色	r/r	紅花チャ (枕崎系)

に近いことが認められている。

日本の在来種では, 京都の材料が両成分ともに高く中国本土の収集群と含有率において差異が認められなかった。京都の在来種は花器形態でも雌ずいが雄ずいよりも上に突き出ている系統の頻度が高いことから中国種の影響を他の地域よりも多く残していると言われており(鳥屋尾・武田, 1978, 1999; 山口, 1996), これとの関連が注目される。

チャ遺伝資源からの低カフェイン系統の検索では, 2%未満の低カフェイン系統を導入中国種から1系統, 日本在来種から7系統選抜した。低カフェインチャの育種目標を1%とし, 当面の育種目標を1.5~2.0%未満にすると一次目標の低カフェイン系統が選抜されたことになる。今後, これらの育種素材を活用して一層の低カフェイン品種を育成する必要がある。

カテキンは茶の渋味成分であり, 緑茶, 特に煎茶ではカテキンの多いことはマイナス要因である。しかしながら, 最近, 茶の機能性成分が注目されており, その主役がカテキンであることから, カテキン含量の高い品種が注目されている。カテキンはKADAら(1985)の研究以後, 抗酸化, 抗がん, 突然変異抑制, 抗菌, 抗ウイルス

ス、抗アレルギーなど多くの作用があることが明らかになってきた。チャのタンニンの大部分がカテキンであることから（中川，1970 b），分析の簡易なタンニンを指標にチャ遺伝資源のタンニン含有率の変異を調査した結果，日本在来種では大部分が13～15%の範囲にあり，収集地による変異も非常に小さいことが明らかになった。このためタンニン含有率が高く，変異も大きいアッサム種の中から高カテキン素材を検索の方が効率的である。本試験では25%を超える16系統の高タンニン系統をアッサム種の中から選抜した。この中には‘IND113’のように高タンニン，高カフェインで生育旺盛な系統も含まれていた。‘IND113’のこのような特性はよく遺伝することが後代検定で確かめられているが（根角・武田，1996，1998），アッサム種であるため耐凍性は「植物遺伝資源特性調査マニュアル（5）」（農業生物資源研究所，1992）に基づいて評価すると3～4と弱く，わが国で広く栽培することは困難であった。このため‘IND113’については高カテキン育種を行うための中間母本としての優秀性を認め農林登録を行った（茶中間母本農3号，1998年登録）。現在この品種の後代から耐凍性の高い高カテキン個体が育成されており今後有望な育種素材となっている。

ポリフェノール的一种であるアントシアニンも機能性が認められ，赤ワインブームや紫色の各種甘藷製品が開発されている（津久井・林，2000）。チャでも紅花（べにばな）チャと称される紅色の花をもち，高含量のアントシアニンにより新芽は紫褐色から赤褐色を呈する茶樹がある。この紅花チャにはHPLC分析の結果12種類のアントシアニンのピークが認められている（TERAHARA *et al.*, 2001）。アントシアニン組成では，デルフィニジン3-ガラクトシド（Delphinidin 3-galactoside），シアニジン3-ガラクトシド（Cyanidin 3-galactoside）の主要なアントシアニン成分の他に，デルフィニジン3-(6-p-クマリル)-ガラクトシド（Delphinidin 3-(6-p-coumaryl)-galactoside）という新規物質が発見されている。この新規アントシアニンはデルフィニジン3-ガラクトシドに有機酸が結合したことでより安定した形になっており，今後チャのアントシアニンの利用を考える上で興味を持たれる。

紅花チャは「日本植物誌」（大井，1965）では *Camellia sinensis* var. *sinensis* forma *rosea* と命名されているが，紅花チャの紅色花色は劣性遺伝子 *r* の単純劣性ホモの状態 (*r/r*) の時に発現することが明らかになった。このことは紅花チャと通常の白花のチャを交配し，そのF₁を紅花チャに戻し交配すれば紅花と白花が

1：1に出現することになる。

現在，紅花チャは三重系，茶試系，枕崎系と呼ばれる3系統があるが，いずれも生育が悪く，生葉収量が少ない。しかしながら，紅色花色の遺伝様式が解明されたことから高アントシアニン系統の育種は紅花チャを母本とし，これに生育の良い品種を交配してそのF₁同士あるいは紅花チャに戻し交配すれば確実に一定の割合で紅花チャが作出出来る。従って，その中から栽培形質の優れた高アントシアニン個体を選抜すれば良い。また，紅色花色のチャは根も赤いという特性を利用すれば育種の初期段階で選抜可能となり育種技術として一つの体系が確立された。

6 要約

わが国のチャ遺伝資源の新芽中のカフェインとタンニン含有率は，カフェインの場合，1.64～5.46%，タンニンでは9.37～26.82%の大きな変異が認められた。アッサム種は中国種に比べて両成分ともに高く，その境界はカフェインで3.5～4.0%，タンニンで18～20%であった。また，中国種の中ではカフェイン，タンニンの両成分とも日本在来種が中国導入種より低く，インド，バングラディシュ，ミャンマー原産のアッサム種から中国本土の中国種そして日本在来種へと次第に低くなる傾向が認められた。

わが国のチャ遺伝資源についてカフェインおよびタンニン含有率を評価し，低カフェインおよび高カテキンの育種素材を選抜した。高カテキン系統として選抜した‘IND113’は後代によく特性が遺伝するため，高カテキン育種の中間母本として1998年に農林登録を行った（茶中間母本農3号）。

カテキンとカフェイン含有率はチャの種内分類だけでなく変種内の分類にも利用できることがわかった。

高アントシアニン系統の選抜の指標として紅花チャの花色の遺伝解析を行い，紅色の花色は1対の劣性遺伝子 *r* がホモの状態が発現することを明らかにした。

V チャ輪斑病抵抗性の遺伝様式の解明とその育種への利用

わが国の主要品種である‘やぶきた’は *P. longiseta* 属によって起こる輪斑病に罹病性である。また，‘やぶきた’を育種母本として育成されたわが国の緑茶用品種は，この輪斑病に対して罹病性である場合が多く，全茶園面積の約80%，品種茶園に限れば90%が罹病性品種で占められている（日本茶業中央会，1999）。このため輪斑

病抵抗性品種の育種はわが国の重要な育種目標である。

病害抵抗性育種では、母本の抵抗性に関する遺伝子型を確実に推定することが育種を効率的に進める上で重要である。イネのいもち病に対する真性抵抗性の遺伝子型は、多数のいもち病菌レースを巧みに使いわけ、それに対する反応型により推定している。これによっていもち病抵抗性育種の母本選定とその後の選抜操作の効率化が図られている（鳥山ら、1983）。

チャの病害抵抗性育種は、これまでは抵抗性品種を母本とした分離集団を作り、その中で偶然に出現する抵抗性個体を選抜する方法をとってきた。しかし、この方法では抵抗性の遺伝様式が明らかにされていないため、母本の選択、育種規模、選抜強度などは育種家の経験に依るところが大きかった。

一方、*P. longisetata* 菌によって起こる輪斑病では、チャが示す抵抗性の表現型が変種間および変種内系統間で著しい差異があることを第2章第3節で明らかにした。また、正確な検定法を確立したことから本病に対する抵抗性の遺伝様式の解析が可能になった。

そこで、本章では *P. longisetata* 菌によって起こる輪斑病に対する抵抗性の遺伝様式を解明し、チャ遺伝資源の本病に対する遺伝子型を解析して輪斑病抵抗性育種法の確立を目指した。

また、わが国の主要な品種について輪斑病抵抗性に対する表現型と遺伝子型を明らかにし、今後の育種母本としての利用を図るとともに、交雑によって育成された品種について輪斑病抵抗性の遺伝子型から親子関係を検討した。

1 輪斑病抵抗性の遺伝様式の解明

P. longisetata 菌に対するチャの輪斑病抵抗性には明瞭な品種間差異が認められ、交雑 F_1 世代では2山型あるいは3山型の分離をすることから本病に対する抵抗性遺伝子は少数であることが予想された（池田ら、1986；武田、1987a）。

そこで本節では抵抗性の異なる5品種の相反交雑の F_1 個体について交配親の表現型と F_1 個体の表現型の分離比から輪斑病抵抗性の遺伝様式について解析を行った。

a 材料および方法

輪斑病抵抗性の異なる5品種、‘やぶきた’（罹病性）、‘ふじみどり’（中度抵抗性）、‘さやまかおり、やまとみどり、Z1’（以上高度抵抗性）の相反交雑個体（30個体/組合せ）を用い、ほ場において *P. longisetata* 菌の分生子

を接種して検定を行った。接種後15～17日目に病斑の大きさを測定し、病斑の形、色も参考に高度抵抗性、中度抵抗性、罹病性の3つの表現型で判定した。また、交配親の抵抗性と F_1 個体の表現型の分離比から輪斑病抵抗性の遺伝様式を解析し、交配親の遺伝子型を推定した。

b 結果

交配親として供試した5品種の病斑直径とそれを基にして判定した抵抗性を表-38に示した。

高度抵抗性品種‘さやまかおり、やまとみどり、Z1’の3品種は接種後病斑はほとんど拡大せず、5mm以下に止まっていた。中度抵抗性品種‘ふじみどり’では、接種後16日目の病斑は約8mm前後に達していたが、これ以上の拡大は起こらず病斑の拡大が停止していた。罹病性品種の‘やぶきた’は病斑の大きさが13mm以上に達しており、接種後20日を過ぎると病斑は葉縁にまで達して落葉し始めた。

相反交雑ではどちらを種子親にしても相反交雑間で表現型の分離結果に差異は認められなかった（図-22）。このため相反交雑間の F_1 個体をまとめ、その表現型の分離結果を表-39に示した。

罹病性品種（S）と高度抵抗性品種（R）の組合せをみると、‘やぶきた’×‘やまとみどり’、‘やぶきた’×‘さやまかおり’の場合、RとSがそれぞれ29：31、32：28に分離したが、‘やぶきた’×‘Z1’ではRとMが33：27に分離した。

罹病性品種（S）と中度抵抗性品種（M）の組合せである‘やぶきた’×‘ふじみどり’の組合せでは、MとSが35：25に分離した。

中度抵抗性品種と高度抵抗性品種の組合せである‘ふじみどり’×‘やまとみどり’および‘ふじみどり’×‘さやまかおり’では、R、M、Sの分離比が前者では25：20：15、後者では30：15：15であった。また、‘ふじみどり’×‘Z1’の組合せでは、RとMが34：26に分離した。

高度抵抗性同士の組合せである‘Z1’×‘やまとみどり’と‘Z1’×‘さやまかおり’では、RとMがそれぞれ46：14と43：17に分離したが、‘さやまかおり’×‘やまとみどり’では、RとSが50：10に分離した。

上記の分離結果を見ると、‘やまとみどり’と‘さやまかおり’は F_1 での表現型の分離では全く同じ傾向を示したことからこの両品種の遺伝子型は同じである可能性が高い。

また、中度抵抗性品種と高度抵抗性品種の組合せであ

表-38 交配親に使用した品種の輪斑病に対する表現型

品 種	表 現 型	個 体 数	平均病斑直径 mm
やぶきた	S	45	13.07±1.66
ふじみどり	M	36	8.17±1.38
さやまかおり	R	44	4.36±0.75
やまとみどり	R	45	3.22±0.52
Z 1	R	46	4.17±1.14

表現型 R (高度抵抗性), M (中度抵抗性), S (罹病性).

表-39 抵抗性の異なる交配組合せのF₁個体の輪斑病に対する表現型の分離

交配組合せ	観 察 値			期 待 比			χ^2	P
	R	M	S	R	M	S		
やぶきた×やまとみどり	29		31	1		1	0.067	0.9 < P
やぶきた×さやまかおり	32	28		1		1	0.267	0.8 < P < 0.9
やぶきた×Z 1	33	27		1	1		0.600	0.7 < P < 0.8
やぶきた×ふじみどり		35	25		1	1	1.667	0.4 < P < 0.5
ふじみどり×やまとみどり	25	20	15	2	1	1	2.500	0.2 < P < 0.3
ふじみどり×さやまかおり	30	15	15	2	1	1	0.000	—
ふじみどり×Z 1	34	26		1	1		1.067	0.5 < P < 0.6
Z 1×やまとみどり	46	14		3	1		0.088	0.9 < P
Z 1×さやまかおり	43	17		3	1		0.356	0.8 < P < 0.9
さやまかおり×やまとみどり	50		10	3		1	1.112	0.5 < P < 0.6

各交配組合せは相反交雑を行い、1組合せ30個体、1組の相反交雑を60個体とした。

R, M, Sは病斑直径により分類した。R (< 5 mm), M (6 ~ 9 mm), S (> 10 mm)。

観察値が期待比に適合した場合は適合度の検定を行わなかった。

る‘ふじみどり’ (中度抵抗性) と‘やまとみどり’ (高度抵抗性), ‘ふじみどり’ と‘さやまかおり’ (高度抵抗性) および高度抵抗性同士の組合せである‘さやまかおり’ と‘やまとみどり’ からもF₁で罹病性個体が分離することから‘ふじみどり’, ‘さやまかおり’, ‘やまとみどり’はいずれも抵抗性遺伝子をホモではなく、ヘテロで持っている可能性が高い。一方, ‘Z 1’を親とする場合には, そのF₁からは罹病性個体が出現しない。従って, この品種は罹病性遺伝子を持たないか, 何らかの形でマスクされている可能性が高い。また, 高度抵抗性品種を親にした場合, F₁は高度抵抗性個体が必ず一定の割合で出現することから高度抵抗性遺伝子は優性遺伝子であることが推定された。

以上の結果から輪斑病抵抗性は少数の遺伝子によって支配されている可能性が考えらる。ここでは1遺伝子で支配されている場合, 2遺伝子で支配されている場合について検討した結果, 2つの優性な抵抗性遺伝子が関与し, それらの間に働きあいがあることが想定された。この2種類の抵抗性遺伝子はそれぞれ独立した優性の抵抗性遺伝子 (高度抵抗性遺伝子 Pl_1 と中度抵抗性遺伝子 Pl_2) であり, 高度抵抗性遺伝子 Pl_1 は中度抵抗性遺伝子 Pl_2 に

対して上位とすることによってよく説明できることがわかった。この場合, 罹病性品種は2種の抵抗性遺伝子をいずれも持たないため, 遺伝子型は $pl_1pl_1pl_2pl_2$ と仮定した。

これにより罹病性品種の‘やぶきた’は $pl_1pl_1pl_2pl_2$ の遺伝子型が推定された。中度抵抗性品種の‘ふじみどり’は, 高度抵抗性遺伝子 Pl_1 を欠き, 罹病性品種の‘やぶきた’との組合せにより罹病性個体が分離することから中度抵抗性遺伝子 (Pl_2) だけをヘテロに持つ遺伝子型, $pl_1pl_1Pl_2pl_2$ が推定された。高度抵抗性品種では, ‘さやまかおり’ と‘やまとみどり’は高度抵抗性遺伝子 Pl_1 をヘテロに持ち, ‘さやまかおり’ × ‘やまとみどり’の組合せから中度抵抗性個体が分離してこないことから中度抵抗性遺伝子を持たない遺伝子型, $Pl_1pl_1pl_2p l_2$ が推定された。

‘Z 1’は同じく高度抵抗性品種の‘やまとみどり’, あるいは‘さやまかおり’との組合せで高度抵抗性個体と中度抵抗性個体が分離することから, 高度抵抗性遺伝子 Pl_1 をヘテロに, 中度抵抗性遺伝子 Pl_2 をホモに持つ遺伝子型, $Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$ が推定された。

以上の結果から相反交雑試験の親として使用した品種の推定遺伝子型を表-40に示した。

次に、ここで推定された5品種の遺伝子型から理論的に求められるF₁個体の表現型の分離比を求め、表-39に示したすべての組合せについて観察値の適合度をχ²検定した。

罹病性品種(S)と高度抵抗性品種(R)の組合せでは、‘やぶきた’×‘やまとみどり’、‘やぶきた’×‘さやまかおり’の場合、上記で推定された遺伝子型とすればRとSが1:1に分離し、‘やぶきた’×‘Z1’ではRとMが1:1に分離することになる。χ²検定による適合度の検定では、いずれもP>0.7となり、理論比通りの分離と見なしてよいことが明らかになった(表-39)。

罹病性品種(S)と中度抵抗性品種(M)の組合せである‘やぶきた’×‘ふじみどり’の組合せでは、両品種の推定遺伝子型からMとSが1:1に分離することになる。χ²検定による適合度は、P>0.4であったことか

らMとSが1:1に分離すると見なしてよいことが明らかになった。

中度抵抗性品種と高度抵抗性品種の組合せである‘ふじみどり’×‘やまとみどり’、‘ふじみどり’×‘さやまかおり’では、推定された両親の遺伝子型から理論的にはR、M、Sの分離比が2:1:1に、‘ふじみどり’×‘Z1’ではRとMが1:1に分離することになる。上記と同様に適合度をχ²検定した結果、‘ふじみどり’×‘やまとみどり’の組合せの適合度は0.2<P<0.3とやや低かったが、いずれの組合せでもP>0.2であったことから理論比通りの分離であると見なして良いことが明らかになった。

高度抵抗性同士の場合、推定された遺伝子型から‘Z1’×‘さやまかおり’、‘Z1’×‘やまとみどり’では、RとMが3:1に分離し、‘さやまかおり’×‘やまとみどり’ではRとSが3:1に分離することになる。これらの組合せについてχ²検定を行い適合度を求めた結果、適合度はいずれもP>0.5であったことから理論比に良く適合することが明らかになった。

以上の結果からここで仮定した*P. longiseta*菌によるチャの輪斑病抵抗性の遺伝様式は実際の分離集団で良く適合することが明らかになった。

c 考察

チャは木本性の永年生作物であるため遺伝解析が困難とされており、これまでにコーロ、白葉(鳥屋尾, 1979)、花卉のアントシアニン(武田・根角, 1996)など特定の形質についてのみ遺伝解析が行われてきたが、耐病性のような実用性の高い形質で解析できた例はこれまでにない。本試験において相反交雑におけるF₁の表現型の分離をみると、交雑の向き、すなわちどちらを種子親にしても相反交雑間で違いが認められなかったことから輪斑病抵抗性は細胞質の影響を受けない核内遺伝子によるものと考えられた。また、F₁個体が明瞭な2山型あるいは3山型を示したことから、1~2個の少数の遺伝子支配が推察された。1つの対立遺伝子間(A-a)の働きあいの場合、高度抵抗性、中度抵抗性、罹病性がF₁で分離するためには抵抗性遺伝子Aは不完全優性で、中度抵抗性はAaで発現することが想定される。しかしながら、‘やぶきた’×‘さやまかおり’などの罹病性(S)×高度抵抗性(R)の組合せから中度抵抗性(M)が分離していないことからこの推察は矛盾する。

2つの対立遺伝子(A-a, B-b)の場合、非対立遺伝子間の働きあいにより様々な遺伝様式が想定される

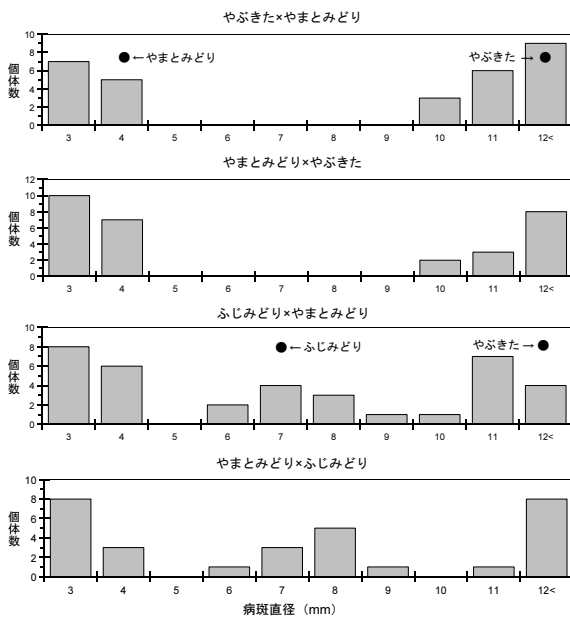


図-22 相反交雑組合せF₁における輪斑病の病斑の大きさの分布

表-40 供試品種の*P. longiseta*によって発病する輪斑病に対する遺伝子型

品 種 名	表現型	推定される遺伝子型
やぶきた	S	<i>pl₁pl₁pl₂pl₂</i>
ふじみどり	M	<i>pl₁pl₁Pl₂pl₂</i>
さやまかおり	R	<i>Pl₁pl₁pl₂pl₂</i>
やまとみどり	R	<i>Pl₁pl₁pl₂pl₂</i>
Z1	R	<i>Pl₁pl₁Pl₂Pl₂</i>

Pl₁は高度抵抗性遺伝子, 中度抵抗性遺伝子(Pl₂)に対して上位。

Pl₂は中度抵抗性遺伝子, 高度抵抗性遺伝子(Pl₁)に対して下位。

(HARTL and MARUYAMA, 1968; NEUMAN and RICE, 1992). この場合, 2つのA, B遺伝子が補足的に働いて高度抵抗性を示す場合や2つのA, B遺伝子が同じ方向に働いて, 優性遺伝子間に累積効果のない重複遺伝子などを仮定すると, 中度抵抗性を示す表現型が分離しないことになり説明できない. また, AとBが抵抗性に関与し, 同義遺伝子として相加的に働くような場合を仮定しても, 二つあるいは三つの山を持つ単純な分布を示さないことからここでは適合しない. このようなことから抵抗性の異なる2つの抵抗性遺伝子, すなわち高度抵抗性遺伝子 (Pl_1) と中度抵抗性遺伝子 (Pl_2) を想定し, Pl_1 は Pl_2 に対して上位であるとする概念を導入することでよく説明できる.

2つの遺伝子の遺伝子間の働きあいによる遺伝様式には多くのモデルが示されている. 本試験で得られた遺伝様式と同様の例として犬の体色の例があげられているが (HARTL and MARUYAMA, 1968), このような遺伝様式が耐病性の遺伝様式として明解に解析された例は他に見当たらなかった.

輪斑病抵抗性がここで提唱された遺伝様式をとると, 想定される全部の遺伝子型は9種類で, 表現型は3種類となる. そして, ‘やぶきた’ など罹病性品種に9種類の遺伝子型を交配すると, その F_1 の抵抗性 (表現型) は高度抵抗性遺伝子 Pl_1 と中度抵抗性遺伝子 Pl_2 の相互作用によりそれぞれ特有の分離比を示す (図-23). 従って, 罹病性の ‘やぶきた’ に遺伝子型が未知の品種を交配し, その F_1 の分離比を検定すれば, 逆に遺伝子型が推定できる.

そこで, 次節では遺伝子型の異なる組合せにおいてここで提唱した遺伝様式に矛盾がないか検証する.

2 交雑後代における輪斑病抵抗性の遺伝様式の検定

前節で明らかにした *P. longiseta* 菌に対するチャの輪斑病抵抗性の遺伝様式を種々の遺伝子型をもった品種について検証するため育種事業の中で実施している交配実生群を使って試験を行った.

a 材料および方法

罹病性品種 ‘やぶきた’ あるいは ‘あさつゆ’ に12の品種あるいは系統を交配し, その F_1 個体に輪斑病分生子の人為接種検定を行って表現型の分離比から交配親に用いた片親の品種・系統の輪斑病抵抗性の遺伝子型を解析した.

更に, ここで遺伝子型を明らかにした品種・系統を供試し, 15の抵抗性の異なる交配組合せについて F_1 の輪

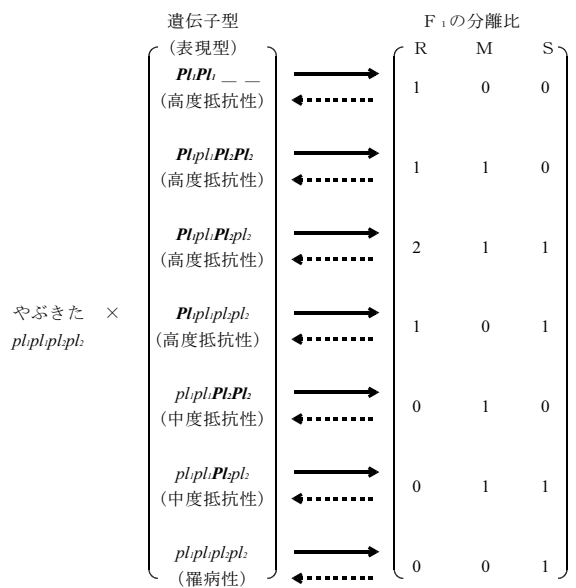


図-23 輪斑病抵抗性の遺伝子型とそれに対応する表現型
 → は F_1 の表現型の理論的分離比.
 ← は F_1 の理論的分離比から推定される遺伝子型.

斑病抵抗性検定を行い, その分離比を χ^2 検定して各組合せの適合度から先に推定した品種・系統の遺伝子型の妥当性を検証した.

b 結果

12組合せについて F_1 の表現型の分離比を図-23で示した分離比のモデルに当てはめ, 期待される分離比を求めた. そして実際の表現型の分離比について χ^2 検定を行い, 期待される分離比への適合度を検定した. 得られた12品種/系統の輪斑病抵抗性の遺伝子型を表-41に示した.

‘ F_1 10115’ × ‘あさつゆ’ の組合せなど一部適合度の低い組合せも認められたが, いずれも $P > 0.05$ 以上であったことから, 観察値は期待される分離比に適合していると見なしてよいことが分かった. これにより $R : M = 1 : 1$ に分離した ‘べにたちわせ, さつまべに’ および, ‘ひめみどり’ の遺伝子型は $Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$ と推定された. 次に, $R : M : S = 2 : 1 : 1$ に分離した ‘S6, F_1 10115’ および ‘枕系 29-5’ の遺伝子型は $Pl_1pl_1Pl_2pl_2$ と推定された. また, $R : M = 1 : 1$ に分離した ‘枕在 81-8’ の遺伝子型は $Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$, $R : S = 1 : 1$ に分離した ‘静在 16’ および ‘枕崎 13号’ の遺伝子型は $Pl_1pl_1pl_2pl_2$, $M : S = 1 : 1$ に分離した ‘めいりよく’ の遺伝子型は $pl_1lpl_1Pl_2pl_2$, そしてすべて罹病性になった ‘さえみどり’ と ‘あさつゆ’ の遺伝子型は $pl_1lpl_1pl_2pl_2$

表-41 輪斑病抵抗性検定に用いた交配親の表現型と遺伝子型

品 種 名 (推定遺伝子型)	検定した組合せ	観察値			期待分離比			P (χ^2 値)
		R	M	S	R	M	S	
べにたちわせ ($Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$)	やぶきた×べにたちわせ ($pl_1pl_1pl_2pl_2$)	43	30	0	1	1	0	$0.3 < P < 0.4$ (2.315)
さつまべに ($Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$)	やぶきた×さつまべに ($pl_1pl_1pl_2pl_2$)	8	8	0	1	1	0	— (0)
ひめみどり ($Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$)	やぶきた×ひめみどり ($pl_1pl_1pl_2pl_2$)	20	17	0	1	1	0	$0.8 < P < 0.9$ (0.243)
S 6 ($Pl_1pl_1Pl_2pl_2$)	やぶきた×S 6 ($pl_1pl_1pl_2pl_2$)	12	9	6	2	1	1	$0.6 < P < 0.7$ (0.935)
枕在 81-8 ($Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$)	やぶきた×枕在 81-8 ($pl_1pl_1pl_2pl_2$)	21	12	0	1	1	0	$0.2 < P < 0.3$ (2.455)
さえみどり ($pl_1pl_1pl_2pl_2$)	やぶきた×さえみどり ($pl_1pl_1pl_2pl_2$)	0	0	71	0	0	1	— (0)
F ₁ 10115 ($Pl_1pl_1Pl_2pl_2$)	F ₁ 10115×あさつゆ ($pl_1pl_1pl_2pl_2$)	28	7	7	2	1	1	$0.05 < P < 0.1$ (4.667)
静在 16 ($Pl_1pl_1pl_2pl_2$)	やぶきた×静在 16 ($pl_1pl_1pl_2pl_2$)	14	0	13	1	0	1	$P > 0.95$ (0.037)
枕崎 13号 ($Pl_1pl_1pl_2pl_2$)	やぶきた×枕崎 13号 ($pl_1pl_1pl_2pl_2$)	62	0	85	1	0	1	$0.1 < P < 0.2$ (3.598)
あさつゆ ($pl_1pl_1pl_2pl_2$)	やぶきた×あさつゆ ($pl_1pl_1pl_2pl_2$)	0	0	57	0	0	1	— (0)
枕系 29-5 ($Pl_1pl_1Pl_2pl_2$)	やぶきた×枕 29-5 ($pl_1pl_1pl_2pl_2$)	27	11	13	2	1	1	$0.7 < P < 0.8$ (0.568)
めいりよく ($pl_1pl_1Pl_2pl_2$)	やぶきた×めいりよく ($pl_1pl_1pl_2pl_2$)	0	15	13		1	1	$0.4 < P < 0.5$ (0.143)

χ^2 値が0の場合は適合していることは明白なため検定は行わなかった。

と推定された。

次に、遺伝子型の組合せが異なる15組のF₁における輪斑病抵抗性の検定では、期待される表現型の分離比は両親の遺伝子型が明らかになっているため容易に求められる。このようにして求められた分離比に対するF₁の表現型の分離比は、 χ^2 検定で適合度が最も低い‘ゆたかみどり’×‘枕系29-5’の組合せでも $P > 0.2$ であったことから、ここで供試した15組合せはいずれも観察値が理論値によく適合することが確かめられた(表-42)。

これにより表-36で推定された品種・系統の輪斑病抵抗性の遺伝子型は矛盾がないことが検証できた。

以上の結果からチャの輪斑病抵抗性は2種の優性な抵抗性遺伝子である高度抵抗性遺伝子(Pl_1)と中度抵抗性遺伝子(Pl_2)によって支配されており、 Pl_1 は Pl_2 に対して上位であるとする仮説をよく説明できることが明らかになった。

c 考 察

P. longiseta 菌に対するチャの輪斑病抵抗性の遺伝様

式は抵抗性の異なる2つの優性遺伝子によって説明できることを明らかにした。ここで用いた抵抗性の遺伝子記号は *Peatalotiopsis longiseta* の頭文字にちなんで命名したものである。

2つの優性で抵抗性の異なる遺伝子 Pl_1 , Pl_2 の相互作用により支配されているチャの輪斑病抵抗性の表現型は高度抵抗性、中度抵抗性、罹病性の3種類だけであるが、対応する遺伝子型は9種類ある。すなわち、① $Pl_1Pl_1Pl_2Pl_2$, ② $Pl_1Pl_1Pl_2pl_2$, ③ $Pl_1Pl_1pl_2pl_2$, ④ $Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$, ⑤ $Pl_1pl_1Pl_2pl_2$, ⑥ $Pl_1pl_1pl_2pl_2$ (以上は表現型で高度抵抗性を示す), ⑦ $pl_1pl_1Pl_2Pl_2$, ⑧ $pl_1pl_1Pl_2pl_2$ (以上は表現型で中度抵抗性), ⑨ $pl_1pl_1pl_2pl_2$ (表現型は罹病性) である。これら9種類の遺伝子型による組合せ数は交配の向き、すなわちどちらを種子親にしても同じとして数えると、45通りあるが、 Pl_1 遺伝子をホモにもつ組合せを除くと21通りの組合せとなる。ここではそのうちの15通りの組合せについて実際の品種育成途上の材料を使って検討した結果、いずれもの組合せもF₁分離比と理論比がよく適合した

表-42 輪斑病抵抗性の遺伝子型が異なる品種組合せ F₁ における表現型の分離比の検定

交配組合せ (遺伝子型)	観 察 数			期待される分離比			P (χ^2 値)
	R	M	S	R	M	S	
べにたちわせ × さやまかおり ($Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$) ($Pl_1pl_1pl_2pl_2$)	27	13	0	3	1	0	0.5 < P < 0.6 (1.200)
やまとみどり × さつまべに ($Pl_1pl_1pl_2pl_2$) ($Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$)	29	14	0	3	1	0	0.5 < P < 0.6 (1.311)
ひめみどり × S 6 ($Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$) ($Pl_1pl_1Pl_2pl_2$)	14	5	0	3	1	0	0.95 < P (0.017)
ゆたかみどり × 枕在 81-8 ($pl_1pl_1Pl_2pl_2$) ($Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$)	8	2	0	3	1	0	0.9 < P < 0.95 (0.133)
Z 1 × さえみどり ($Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$) ($pl_1pl_1pl_2pl_2$)	77	75	0	1	1	0	P < 0.95 (0.026)
かなやみどり × F ₁ 10115 ($Pl_1pl_1pl_2pl_2$) ($Pl_1pl_1Pl_2pl_2$)	40	7	7	6	1	1	P < 0.95 (0.025)
枕系 29-20 × あさつゆ ($Pl_1pl_1Pl_2pl_2$) ($pl_1pl_1pl_2pl_2$)	26	13	15	2	1	1	0.8 < P < 0.9 (0.223)
ゆたかみどり × 枕系 29-5 ($pl_1pl_1Pl_2pl_2$) ($Pl_1pl_1Pl_2pl_2$)	31	19	12	4	3	1	0.2 < P < 0.3 (3.108)
やまとみどり × めいりよく ($Pl_1pl_1pl_2pl_2$) ($pl_1pl_1Pl_2pl_2$)	21	10	12	2	1	1	0.9 < P < 0.95 (0.209)
静在 16 × 枕崎 13号 ($Pl_1pl_1pl_2pl_2$) ($Pl_1pl_1pl_2pl_2$)	69	0	21	3	0	1	0.9 < P < 0.95 (0.133)
さやまかおり × 枕崎 13号 ($Pl_1pl_1pl_2pl_2$) ($Pl_1pl_1pl_2pl_2$)	79	0	24	3	1	0	0.9 < P < 0.95 (0.159)
さえみどり × 枕系 37-18 ($pl_1pl_1pl_2pl_2$) ($pl_1pl_1Pl_2Pl_2$)	0	75	0	0	1	0	0.99 < P (0)
ゆたかみどり × ゆたかみどり ($pl_1pl_1Pl_2pl_2$) ($pl_1pl_1Pl_2pl_2$)	0	6	2	0	3	1	— (0)
ゆたかみどり × さえみどり ($pl_1pl_1Pl_2pl_2$) ($pl_1pl_1pl_2pl_2$)	0	27	28	0	1	1	0.95 < P (0.009)
やぶきた × あさつゆ ($pl_1pl_1pl_2pl_2$) ($pl_1pl_1pl_2pl_2$)	0	0	57	0	0	1	— (0)

‘さやまかおり, Z 1, かなやみどり, やまとみどり’の遺伝子型は表 40 参照.

ことから, 前節で示した抵抗性の遺伝様式が矛盾なく説明できることが確かめられた. これにより仮説としてたてた遺伝様式の正当性がほぼ証明されたものと思われる.

耐病性を支配する遺伝子で上位性が関与している例として春小麦 (MORNHINWEG *et al.*, 1995) の例があるが, 耐病性においてここで示したような 2 つの優性遺伝子間の上位, 下位性による遺伝様式を世代を重ねて明解に証明できた例はほとんど見当たらず貴重な事例ではないかと思われる.

3 チャ遺伝資源の輪斑病抵抗性に関する遺伝子型の検証

チャ遺伝資源として保存しているアッサム種, 中国種を対象に *P. longiset* 菌によって起こるチャの輪斑病抵抗

性について遺伝子型を解析し, 変種間および導入地域による違いを検討した. また, わが国の主要な育成品種について輪斑病抵抗性の遺伝子型を解析し, これまで育種で主に用いられてきた母本との関係について検討した.

a 材料および方法

インド, バングラディッシュ, 中国, 台湾, 日本などの国および地域から種子で収集し, 育成した 394 系統, 日本在来種から直接あるいは交雑によって育成された育成品種 43 品種およびアッサム種と日本在来種との変種間交雑種 51 系統を, 主に ‘やぶきた’ に交配して分離集団を育成し, この F₁ 個体に *P. longiset* 菌の分生子を接種して F₁ 世代の輪斑病に対する表現型の分離比と両

親の表現型から親となった品種・系統の遺伝子型を推定した。

優性の高度抵抗性遺伝子 (Pl_1) をホモに持つ系統 (遺伝子型は $Pl_1Pl_1Pl_2Pl_2$, $Pl_1Pl_1Pl_2pl_2$, $Pl_1Pl_1pl_2pl_2$) は ‘やぶきた’ などの罹病性品種と交配してもその F_1 はすべて高度抵抗性遺伝子 Pl_1 を1つ持つために表現型は必ず高度抵抗性を示し、 F_1 では表現型の分離が起こらない。このためこのような品種では罹病性品種と交配しても F_1 世代では Pl_2-pl_2 の遺伝子構成が解析できない。そこでこれらの遺伝子型をここでは一括して Pl_1Pl_1- と表記した。

b 結果

チャ遺伝資源の輪斑病抵抗性の遺伝子型を表-43に示した。

日本在来種および中国導入種などの中国種 (var. *sinensis*) は7種類すべての遺伝子型に対応していたが、インドその他の国から導入したアッサム種 (var. *assamica*) は非常に限られた遺伝子型だけが認められた。アッサム種では、高度抵抗性を示した系統のうち、その72%が高度抵抗性遺伝子 Pl_1 をホモに持っていた。これに対し中国導入種は、第2章第3節で明らかにしたように、表現型はアッサム種と同様に98%が高度抵抗性を示したが、 Pl_1 をホモに持つ割合は51%と低かった。また、日本在来種は表現型で高度抵抗性を示す系統が62あったが、 Pl_1 遺伝子をホモに持つ系統は12 (17.6%) と少数であった。このため日本在来種では80%以上の系統は Pl_1 遺伝子を1つ (ヘテロ) 持つことによ

て高度抵抗性を発現していた。

形態的には小葉系で中国種に分類されるインドのダージリンの Cd 系統群は、供試したすべての系統が輪斑病に対して表現型では高度抵抗性を示し、その遺伝子型では Pl_1 をホモに持つものが多かった。このことから Cd 系統はアッサム種の影響をかなり強く受けている集団と考えられた。

台湾ヤマチャの系統はすべて Pl_1 遺伝子をホモに持っており、非常に斉一な集団であった。

中国種の中で育成品種として分類したグループはすべて日本在来種を中心に育成された煎茶用品種である。43の育成品種のうち11品種 (25.6%) が罹病性であり、日本在来種の罹病性系統の平均出現率である16%と比べるとその比率が高かった。

交雑育種により中国種とアッサム種から人為的に作出された変種間雑種は7つの遺伝子型すべてに対応していた。また、各遺伝子型に対する頻度分布では、これら変種間雑種はアッサム種と日本在来種の中間の分布を示した。また、表現型で高度抵抗性を示した系統は日本在来種と同様に大部分が Pl_1 遺伝子を1つ (ヘテロ) 持つことによって高度抵抗性を発現していた。

c 考察

チャ遺伝資源の輪斑病抵抗性に関する遺伝子型の解析を行った。輪斑病抵抗性に対する各遺伝子型の頻度分布では、日本在来種および中国からの導入種の変異が大きく、7つの遺伝子型すべてに対応していた。アッサム種

表-43 チャ遺伝資源の輪斑病抵抗性に関する遺伝子型

種 類	高 度 抵 抗 性			中 度 抵 抗 性		罹 病 性	合 計
	Pl_1Pl_1--	$Pl_1pl_1Pl_1Pl_1$	$Pl_1pl_1Pl_2pl_2$	$Pl_1pl_1pl_2pl_2$	$pl_1pl_1Pl_2Pl_2$	$pl_1pl_1Pl_2pl_2$	
【アッサム種】							
アッサム系導入種	96	28	1	4	0	0	129
台湾ヤマチャ	11	0	0	0	0	0	11
【中国種】							
インド小葉種	23	6	0	0	0	0	29
中国導入種	42	30	2	9	1	5	90
日本在来種	12	29	17	4	8	8	79
育成品種	3	11	3	9	0	6	43
【アッサム雑種】	6	18	3	9	4	6	51

遺伝子型 Pl_1Pl_1-- は $Pl_1Pl_1Pl_2Pl_2$, $Pl_1Pl_1Pl_2pl_2$, $Pl_1Pl_1pl_2pl_2$ の3つの遺伝子型を含んでいる。

アッサム系導入種: Ai, Ak, IND (以上インド), PKs (バングラディシュ), SRL (スリランカ), BUM (ミャンマー), Boh (マレーシア)。

インド小葉種; Cd (インド, ダージリン)。

中国導入種; Ch, Ck, Cm, Cn, Cp (中国)。

日本在来種; 日本在来種・ヤマチャ。

育成品種; 日本在来種由来の煎茶用育成品種および系統。

アッサム雑種; アッサム種と日本在来種との交雑種。

は遺伝子型の変異が極めて小さく（武田，1997，1998，1999），第2章第3節で示したように98%以上の系統が表現型で高度抵抗性を示した。また，その遺伝子型は多くの場合，高度抵抗性遺伝子 Pl_1 をホモに持っていることが明らかになった。一方，中国からの導入種は表現型ではアッサム種と同様に98%が高度抵抗性を示したが，遺伝子型では Pl_1 遺伝子をホモに持つ系統が50%程度に低下し，遺伝子型の面からみるとアッサム種と大きな違いが認められた。インドのダージリンの Cd 系統群は新葉の毛茸特性（武田ら，1993）や成葉の色（武田ら，1992），花器の諸形質（烏屋尾・武田，1999）などでアッサム種の影響が認められているが，輪斑病抵抗性に対する遺伝子型でもアッサム種の影響が強く認められた。

わが国の育成品種はその大部分が煎茶用品種であり，日本在来種からの直接選抜あるいは日本在来種同士の交雑によって育成されたものである（淵之上，1986）。供試した43品種中26品種が高度抵抗性を示し，罹病性品種は11品種であった。しかし，罹病性品種の中には‘やぶきた’，あさつゆ，おくゆたか，さえみどり，ふくみどり，とよか’などの主要品種が含まれており，わが国の栽培面積の80%以上，実生の在来種茶園を除けば約90%の品種茶園はこのような罹病性品種で占められていることになる（日本茶業中央会，1999）。このようなことから輪斑病に抵抗性のある優良品種の育成が望まれている。

これまでわが国の緑茶用品種の育種では，品質優良な‘やぶきた’あるいは‘あさつゆ’など輪斑病に罹病性の品種が多く交配母本に用いられてきた（古野，1996）。このため育成された優良品種の多くが罹病性を示すことになったが，最近では‘やぶきた’以外の品種が交配母本として用いられることが多くなり，輪斑病抵抗性育種を意識したものではなかったが結果として抵抗性品種が育成されるようになってきた。

アッサム種と主に日本在来種との交雑種である変種間雑種は遺伝子型の変異が大きく，罹病性品種も認められている。特に， Pl_1 遺伝子をホモに持つ系統の割合はアッサム種よりもかなり低く，高度抵抗性系統の大部分は Pl_1 遺伝子を1つ持つような遺伝子型であった。

高度抵抗性遺伝子 Pl_1 の出現頻度は変種間および変種内で大きく異なり，アッサム種，中国導入種，日本在来種の順に低くなる一種の形質傾斜が認められた。アッサム種の高度抵抗性系統は大部分が Pl_1 遺伝子をホモに持っていたが，日本在来種ではその多くが Pl_1 遺伝子をヘテロに持つことによって高度抵抗性を発現しており，遺伝子構成が異なっていた。

4 輪斑病高度抵抗性遺伝子 Pl_1 をホモに持つ遺伝子型の検定

チャの品種の輪斑病抵抗性に関する遺伝子型は，罹病性品種（‘やぶきた’など，遺伝子型； $pl_1pl_1pl_2pl_2$ ）と交配し，その F_1 世代の表現型の分離から交配親の遺伝子型が推定できる。しかし，既述したように高度抵抗性遺伝子 Pl_1 をホモに持つ品種ではどのような遺伝子型を持つ品種を交配しても F_1 世代はすべて Pl_1 遺伝子を1つ以上持つことになりすべての F_1 個体の表現型は常に高度抵抗性を示し， Pl_2-pl_2 遺伝子の構成が解析できない。高度抵抗性遺伝子（ Pl_1 ）と中度抵抗性遺伝子（ Pl_2 ）の組合せによって構成される遺伝子型は9種類あるが，上記のような理由から高度抵抗性遺伝子 Pl_1 をホモに持つ遺伝子型（ $Pl_1Pl_1Pl_2Pl_2$ ， $Pl_1Pl_1Pl_2pl_2$ ， $Pl_1Pl_1pl_2pl_2$ ）に対応する品種がこれまで明らかにされていない。このため本章第1節で提唱した輪斑病抵抗性の遺伝様式の妥当性が完全には説明されているとは言い難い。

そこで，本節では高度抵抗性遺伝子をホモに持つ3つの遺伝子型を解析し，対応する品種の検索を行った。

a 材料および方法

高度抵抗性の表現型で遺伝子型が Pl_1Pl_1- を示す7品種（べにひかり，三叉枝蘭，PKS292，Ace37，Abo27，IRN17，IND75）を供試し，次の手順で輪斑病抵抗性に関する遺伝子型を解析した（図-24）。

（1）‘やぶきた’に7品種を交配し，それぞれの組合せで F_1 個体を養成する。

（2）各組合せで得られた F_1 個体を更に‘やぶきた’に戻し交雑し，戻し交雑第1代（ BC_1 ）を養成する。

（3） BC_1 世代の各個体について輪斑病抵抗性の検定を行い，親となった F_1 個体ごとに BC_1 世代の表現型の分離比を検討してそれぞれの F_1 個体の遺伝子型を決定する。

（4） F_1 世代の各個体の遺伝子型の分離比から親（P）として用いた品種・系統の遺伝子型を推定する。

b 結果

代表的な3品種（べにひかり，Ace37，Abo27）の解析結果について図-25に示した。

‘やぶきた’×‘べにひかり’では F_1 で21個体を養成し輪斑病抵抗性の検定を行うとともに，それぞれの F_1 個体を‘やぶきた’に戻し交雑（‘やぶきた’×各 F_1 個体）を行った。そして，それぞれの組合せで BC_1 世代

を15～50個体得た(データ省略)。BC₁世代の輪斑病抵抗性の検定結果から、21すべての組合せで表現型の分離比がR:M:S=2:1:1と見なして良い分離結果が得られた。このためF₁世代の各個体の遺伝子型はすべて同じであり、図-23からわかるようにF₁個体はすべてPl₁pl₁Pl₂pl₂の遺伝子型であることが推定された。F₁個体がすべてこのような遺伝子型をとるためには‘べにひかり’の遺伝子型は中度抵抗性遺伝子Pl₂をホモに持つ遺伝子型、Pl₁Pl₁Pl₂Pl₂が推定された。

‘やぶきた’×‘Ace37’の組合せでは、16個体のF₁世代を養成し、‘べにひかり’の場合と同様に‘やぶきた’に戻し交雑を行ってBC₁世代で各組合せとも19～30個体を得た(データ省略)。BC₁世代の輪斑病抵抗性の検定結果から、BC₁世代の親となったF₁個体を検討すると、R:M:S=2:1:1の分離と見なして良い個体と、R:M:S=1:0:1の分離と見なして良い個体が観察され、その比は7:9であった。前者の分離結果を示すF₁個体の遺伝子型は図-23のモデルからPl₁pl₁Pl₂pl₂、後者の遺伝子型を示す遺伝子型はPl₁pl₁pl₂pl₂と推定された。F₁世代の各個体の遺伝子型がこのような2種類の遺伝子型に分かれるのは親(P)として用いた‘Ace37’の遺伝子型がPl₁Pl₁Pl₂pl₂の場合だけである。そこで、P世代の遺伝子型をPl₁Pl₁Pl₂pl₂と仮定すると、‘やぶきた’と交配したF₁世代では2つの遺伝子型、Pl₁pl₁Pl₂pl₂、Pl₁pl₁pl₂pl₂が1:1に分離するはずである。実際の観察では7:9に分離し、ほぼ1:1の分離と見なしてよい結果が得られた(P>0.8)。この結果、‘Ace37’の遺伝子型はPl₁Pl₁Pl₂pl₂であることで矛盾なく説明ができた。

‘やぶきた’×‘Abo27’の組合せでは、18個体のF₁個体が得られ、それぞれのF₁個体を‘やぶきた’に戻し交雑して各組合せのBC₁世代において20～35個体得た(データ省略)。BC₁世代の輪斑病抵抗性の検定では、すべての組合せで表現型の分離がR:M:S=1:0:1と見なして良い結果が得られた。これにより18個体のF₁個体はすべて同一の遺伝子型であり、Pl₁pl₁pl₂pl₂が推定された。F₁個体がすべてこのような遺伝子型をとるためには親(P)の‘Abo27’の遺伝子型はPl₁Pl₁pl₂pl₂と推定された。

同様の方法で残りの4品種・系統を解析した結果、‘三叉枝蘭, PKS292’の遺伝子型は‘べにひかり’と同じPl₁Pl₁Pl₂Pl₂と推定された。‘IRN17, IND75’は‘Abo27’と同様の遺伝子型Pl₁Pl₁pl₂pl₂であった。

以上の結果からPl₁遺伝子をホモに持つ3種の遺伝

子型に対応する品種・系統を表-44にまとめた。

これによりチャの輪斑病抵抗性に関する9種の遺伝子型について対応する品種をすべて解析することができた。

以上の結果から本章第1節で提唱したP. longisetia菌による輪斑病に対する抵抗性の遺伝様式をすべて矛盾なく説明することができた。

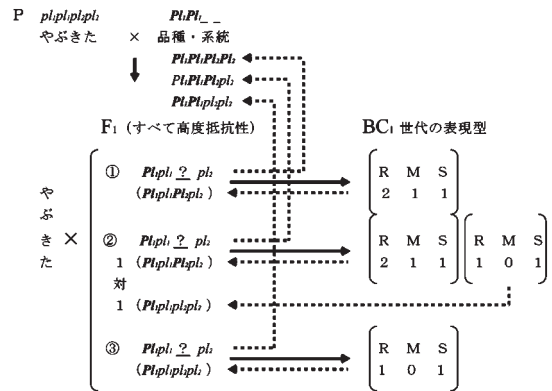


図-24 輪斑病高度抵抗性遺伝子(Pl₁)をホモに持つ品種の遺伝子型の解析モデル

→は観察結果, ←.....は推定結果を示す。

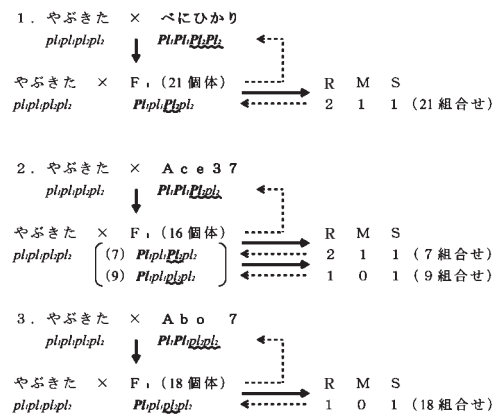


図-25 輪斑病高度抵抗性遺伝子(Pl₁)をホモに持つ品種の遺伝子型の解析

~~~~~部分は各組合せごとのR, M, Sの分離比から新たに推定された遺伝子。

表-44 Pl<sub>1</sub>遺伝子をホモに持つ品種の遺伝子型

| 遺伝子型                                                            | 対応する品種・系統           |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------|
| Pl <sub>1</sub> Pl <sub>1</sub> Pl <sub>2</sub> Pl <sub>2</sub> | べにひかり, 三叉枝蘭, PKS292 |
| Pl <sub>1</sub> Pl <sub>1</sub> Pl <sub>2</sub> pl <sub>2</sub> | Ace37               |
| Pl <sub>1</sub> Pl <sub>1</sub> pl <sub>2</sub> pl <sub>2</sub> | Abo27, IRN17, IND75 |

### c 考察

高度抵抗性遺伝子  $Pl_1$  をホモに持つ品種（遺伝子型  $Pl_1Pl_1--$ ）はどのような遺伝子型の品種を交配しても  $F_1$  世代ではすべて高度抵抗性を示すことから、チャの実際の輪斑病抵抗性育種を行う上ではこれで十分対応できる（武田ら, 1996）。しかしながら、前章で提案した輪斑病抵抗性の遺伝様式は、高度抵抗性遺伝子  $Pl_1$  と中度抵抗性遺伝子  $Pl_2$  の組合せによって構成されるため遺伝子型は全部で9種類想定される。そのうち  $Pl_1$  遺伝子をホモに持つ次の3つの遺伝子型、 $Pl_1Pl_1Pl_2Pl_2$ ,  $Pl_1Pl_1Pl_2pl_2$ ,  $Pl_1Pl_1pl_2pl_2$  が実際に存在し、それに対応する品種があるかどうかを明らかにすることは本章第1節で提唱した輪斑病抵抗性の遺伝様式を完全に証明する上で不可欠なことである。

ここで解析した  $Pl_1$  遺伝子をホモに持つ7品種のうち、人為的な交雑によって育成され、両親が明らかなのは‘べにひかり’だけである。この品種は‘べにかおり’×‘Cn1’の組合せから育成されたものであるが（安間ら, 1970）, ‘べにかおり’の遺伝子型が  $Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$  であり, ‘Cn1’の遺伝子型が  $Pl_1pl_1Pl_2pl_2$  であることから（武田ら, 1996）,  $Pl_1$ ,  $Pl_2$  遺伝子をそれぞれ両親から1つずつ受け継いで  $Pl_1Pl_1Pl_2Pl_2$  の遺伝子構成になった。

ここでは  $Pl_1$  遺伝子をホモに持つ被検定品種を罹病性の‘やぶきた’と交配し  $F_1$  個体を得た。罹病性品種‘やぶきた’と交配することで  $F_1$  個体はいずれも  $Pl_1$  遺伝子をホモに持つことはなくなる。そこで、これらの  $F_1$  個体をもう一度‘やぶきた’に戻し交雑をして  $BC_1$  世代を獲得し抵抗性の検定を行えば、 $BC_1$  世代は輪斑病抵抗性の検定で分離が生じることからその分離比により  $F_1$  世代各個体の遺伝子型を推定できる。次に、 $F_1$  個体の遺伝子型の分離結果から被検定親（P）の遺伝子型が推定できる。戻し交雑の手法はイネのいもち病の各レースに対する遺伝子型の推定でも用いられるなど遺伝子型の解析には有力な手段である（鳥山ら, 1983）。遺伝解析を行うためには、各組合せの個体数を解析可能な数量確保する必要がある。チャ輪斑病抵抗性の場合、‘やぶきた’に各種の遺伝子型を交配して一つの表現型が出る最小の確率は  $1/4$  である。従って、このような表現型を5個体期待するためには最低20個体以上が必要になる。このため  $Pl_1$  遺伝子をホモに持つ品種をここで行ったような戻し交雑法で解析するためには2世代、8年以上の年月と最低でも400個体以上を必要とする。

そこで、本試験では7品種の解析に留まったが、 $Pl_1$

遺伝子をホモに持つ3つの遺伝子型に対応する品種が確認されたことでこれまでの輪斑病抵抗性に関する遺伝様式は支持された。これらのデータは今後輪斑病抵抗性をDNAレベルで解析を行う上でも非常に有益な情報を提供するものと思われる。

### 5 主要品種の輪斑病抵抗性に関する表現型と遺伝子型

*P. longiseta* 菌によって起こるチャの輪斑病抵抗性の品種間差異は明瞭であり、遺伝子型も罹病性品種と交配し、その  $F_1$  個体の表現型の分離比を検定することで解析できる。遺伝子型がわかれば、輪斑病抵抗性育種を計画的に進めることが可能となり育種の大幅な効率化が図られる。ここでは交配母本として使用されている主要な品種・系統について輪斑病抵抗性に対する表現型と遺伝子型を解析した。

#### a 材料および方法

主要な88品種・系統について輪斑病抵抗性に対する遺伝子型を解析するために罹病性品種（遺伝子型； $pl_1pl_1pl_2pl_2$ ）に交配し、 $F_1$  個体に *P. longiseta* 菌の分生子を接種して、病斑の大きさから高度抵抗性（R）、中度抵抗性（M）、罹病性（S）に分け、それら表現型の分離比から親の遺伝子型を解析した。

#### b 結果

チャの主要品種・系統88のうちすでに遺伝子型を明らかにした21を除いた67について罹病性品種に交配して得られた分離集団の輪斑病抵抗性検定の結果を表-45に示した。

表-45の分離結果より推定された主要品種および系統の遺伝子型とこれに対応する表現型を表-46に示した。

高度抵抗性遺伝子  $Pl_1$  を2つ（ホモ）持つ遺伝子型の品種は、 $F_1$  世代では常に  $Pl_1$  遺伝子を1つ以上持つことから表現型は必ず高度抵抗性を示す。このため中度抵抗性に関与する遺伝子（ $Pl_2-pl_2$ ）の働きが表現型に反映されないため解析できない。そこで、そのような品種の遺伝子型を  $Pl_1Pl_1--$  と表示した。このため  $Pl_1Pl_1--$  遺伝子型は  $Pl_1Pl_1Pl_2Pl_2$ ,  $Pl_1Pl_1Pl_2pl_2$ ,  $Pl_1Pl_1pl_2pl_2$  の3つの遺伝子型を包含している。表現型で高度抵抗性を示す遺伝子型は高度抵抗性遺伝子  $Pl_1$  を1つ以上持つことが必要であり、 $Pl_1Pl_1--$ ,  $Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$ ,  $Pl_1pl_1Pl_2pl_2$ ,  $Pl_1pl_1pl_2pl_2$  の4つ遺伝子型が対応する。表現型で中度抵抗性を示す場合、 $Pl_1$  遺伝子を持たないで、中度抵抗性遺伝子  $Pl_2$  遺伝子をホモあるいはヘテ

表-45 罹病性品種との交雑F<sub>1</sub>における主要品種および系統の輪斑病抵抗性の表現型の分離

| 組 合 せ (抵抗性) |             |  |  | 観 察 値 |    |    | 理論度数 |   |   | $\chi^2$ |
|-------------|-------------|--|--|-------|----|----|------|---|---|----------|
|             |             |  |  | R     | M  | S  | R    | M | S |          |
| やぶきた (S)    | べにほまれ (R)   |  |  | 59    | 0  | 0  | 1    | 0 | 0 | 0        |
| やぶきた (S)    | べにふうき (R)   |  |  | 14    | 0  | 0  | 1    | 0 | 0 | 0        |
| やぶきた (S)    | いんど (R)     |  |  | 19    | 0  | 0  | 1    | 0 | 0 | 0        |
| やぶきた (S)    | 印雑 131 (R)  |  |  | 31    | 0  | 0  | 1    | 0 | 0 | 0        |
| やぶきた (S)    | べにふじ (R)    |  |  | 25    | 0  | 0  | 1    | 0 | 0 | 0        |
| やぶきた (S)    | ただにしき (R)   |  |  | 24    | 0  | 0  | 1    | 0 | 0 | 0        |
| さえみどり (S)   | ふうしゅん (R)   |  |  | 192   | 0  | 0  | 1    | 0 | 0 | 0        |
| やぶきた (S)    | くりたわせ (R)   |  |  | 9     | 0  | 0  | 1    | 0 | 0 | 0        |
| やぶきた (S)    | みなみさやか (R)  |  |  | 9     | 0  | 0  | 1    | 0 | 0 | 0        |
| やぶきた (S)    | からべに (R)    |  |  | 9     | 0  | 0  | 1    | 0 | 0 | 0        |
| やぶきた (S)    | 大葉烏龍 (R)    |  |  | 29    | 0  | 0  | 1    | 0 | 0 | 0        |
| やぶきた (S)    | 三叉枝蘭 (R)    |  |  | 123   | 0  | 0  | 1    | 0 | 0 | 0        |
| やぶきた (S)    | 青心大ぼん (R)   |  |  | 10    | 0  | 0  | 1    | 0 | 0 | 0        |
| やぶきた (S)    | 黄柑 (R)      |  |  | 16    | 0  | 0  | 1    | 0 | 0 | 0        |
| やぶきた (S)    | あかね (R)     |  |  | 51    | 50 | 0  | 1    | 1 | 0 | 0.01     |
| やぶきた (S)    | ほうりょく (R)   |  |  | 27    | 30 | 0  | 1    | 1 | 0 | 0.16     |
| やぶきた (S)    | べにかおり (R)   |  |  | 42    | 44 | 0  | 1    | 1 | 0 | 0.05     |
| やぶきた (S)    | やえほ (R)     |  |  | 20    | 13 | 0  | 1    | 1 | 0 | 1.48     |
| やぶきた (S)    | みよし (R)     |  |  | 6     | 7  | 0  | 1    | 1 | 0 | 0.08     |
| やぶきた (S)    | いずみ (R)     |  |  | 24    | 20 | 0  | 1    | 1 | 0 | 0.36     |
| やぶきた (S)    | たかちほ (R)    |  |  | 15    | 21 | 0  | 1    | 1 | 0 | 1.00     |
| やぶきた (S)    | うんかい (R)    |  |  | 17    | 29 | 0  | 1    | 1 | 0 | 3.13     |
| やぶきた (S)    | たまみどり (R)   |  |  | 14    | 13 | 0  | 1    | 1 | 0 | 0.04     |
| やぶきた (S)    | あさぎり (R)    |  |  | 11    | 14 | 0  | 1    | 1 | 0 | 0.36     |
| やぶきた (S)    | ひめみどり (R)   |  |  | 20    | 17 | 0  | 1    | 1 | 0 | 0.24     |
| やぶきた (S)    | やまなみ (R)    |  |  | 13    | 11 | 0  | 1    | 1 | 0 | 0.17     |
| やぶきた (S)    | こまかげ (R)    |  |  | 8     | 5  | 0  | 1    | 1 | 0 | 0.69     |
| やぶきた (S)    | おくひかり (R)   |  |  | 8     | 10 | 0  | 1    | 1 | 0 | 0.22     |
| やぶきた (S)    | 星野緑 (R)     |  |  | 21    | 18 | 0  | 1    | 1 | 0 | 0.23     |
| やぶきた (S)    | 金谷 15号 (R)  |  |  | 32    | 15 | 0  | 1    | 1 | 0 | 3.92     |
| やぶきた (S)    | 枕崎 4号 (R)   |  |  | 8     | 6  | 0  | 1    | 1 | 0 | 0.29     |
| やぶきた (S)    | 枕崎 5号 (R)   |  |  | 6     | 10 | 0  | 1    | 1 | 0 | 1.00     |
| やぶきた (S)    | はつもみじ (R)   |  |  | 35    | 13 | 10 | 2    | 1 | 1 | 4.18     |
| やぶきた (S)    | ろくろう (R)    |  |  | 42    | 18 | 18 | 2    | 1 | 1 | 0.46     |
| やぶきた (S)    | こやにし (R)    |  |  | 39    | 28 | 20 | 2    | 1 | 1 | 2.40     |
| やぶきた (S)    | しゅんめい (R)   |  |  | 13    | 7  | 8  | 2    | 1 | 1 | 0.21     |
| やぶきた (S)    | 枕崎 7号 (R)   |  |  | 33    | 15 | 20 | 2    | 1 | 1 | 2.79     |
| やぶきた (S)    | 枕崎 8号 (R)   |  |  | 16    | 11 | 5  | 2    | 1 | 1 | 2.25     |
| やぶきた (S)    | ME52 (R)    |  |  | 29    | 15 | 19 | 2    | 1 | 1 | 0.91     |
| やぶきた (S)    | Nka-O-3 (R) |  |  | 28    | 13 | 16 | 2    | 1 | 1 | 0.33     |
| やぶきた (S)    | するがわせ (R)   |  |  | 60    | 0  | 42 | 1    | 0 | 1 | 3.17     |
| やぶきた (S)    | みなみかおり (R)  |  |  | 14    | 0  | 14 | 1    | 0 | 1 | 0        |
| やぶきた (S)    | さとうわせ (R)   |  |  | 27    | 0  | 22 | 1    | 0 | 1 | 0.51     |
| やぶきた (S)    | おおいわせ (R)   |  |  | 3     | 0  | 5  | 1    | 0 | 1 | 0.50     |
| おくみどり (R)   | おくゆたか (S)   |  |  | 60    | 0  | 43 | 1    | 0 | 1 | 2.81     |
| やぶきた (S)    | あさのか (R)    |  |  | 6     | 0  | 9  | 1    | 0 | 1 | 0.60     |
| やぶきた (S)    | 金谷 7号 (R)   |  |  | 37    | 0  | 29 | 1    | 0 | 1 | 0.97     |
| やぶきた (S)    | 埼玉 9号 (R)   |  |  | 45    | 0  | 42 | 1    | 0 | 1 | 0.10     |

表-45 罹病性品種との交雑F<sub>1</sub>における主要品種および系統の輪斑病抵抗性の表現型の分離 (続き)

| 組 合 せ (抵抗性) |     |           |     | 観 察 値 |    |    | 理論度数 |   |   | $\chi^2$ |
|-------------|-----|-----------|-----|-------|----|----|------|---|---|----------|
|             |     |           |     | R     | M  | S  | R    | M | S |          |
| やぶきた        | (S) | 宮系2号      | (R) | 30    | 0  | 33 | 1    | 0 | 1 | 0.14     |
| やぶきた        | (S) | 枕崎11号     | (R) | 30    | 0  | 20 | 1    | 0 | 1 | 2.00     |
| やぶきた        | (S) | 枕崎16号     | (R) | 23    | 0  | 26 | 1    | 0 | 1 | 0.18     |
| やぶきた        | (S) | NN27      | (R) | 14    | 0  | 7  | 1    | 0 | 1 | 2.33     |
| やぶきた        | (S) | 牧園大茶樹     | (M) | 0     | 10 | 0  | 0    | 1 | 0 | 0        |
| やぶきた        | (S) | 枕崎1号      | (M) | 0     | 57 | 0  | 0    | 1 | 0 | 0        |
| やぶきた        | (S) | 長崎2号      | (M) | 0     | 10 | 0  | 0    | 1 | 0 | 0        |
| やぶきた        | (S) | みねかおり     | (M) | 0     | 7  | 6  | 0    | 1 | 1 | 0.08     |
| やぶきた        | (S) | くらさわ      | (M) | 0     | 20 | 29 | 0    | 1 | 1 | 1.65     |
| やぶきた        | (S) | やまかい      | (M) | 0     | 12 | 5  | 0    | 1 | 1 | 2.88     |
| やぶきた        | (S) | 雲竜茶       | (M) | 0     | 10 | 6  | 0    | 1 | 1 | 1.00     |
| やぶきた        | (S) | Nka-O-278 | (M) | 0     | 17 | 14 | 0    | 1 | 1 | 0.29     |
| やぶきた        | (S) | 枕崎18号     | (M) | 0     | 32 | 18 | 0    | 1 | 1 | 3.92     |
| やぶきた        | (S) | 枕崎23号     | (M) | 0     | 37 | 37 | 0    | 1 | 1 | 0        |
| やぶきた        | (S) | とよか       | (S) | 0     | 0  | 21 | 0    | 0 | 1 | 0        |
| やぶきた        | (S) | おくむさし     | (S) | 0     | 0  | 17 | 0    | 0 | 1 | 0        |
| さやまみどり      | (S) | なつみどり     | (S) | 0     | 0  | 16 | 0    | 0 | 1 | 0        |
| やぶきた        | (S) | 三重260号    | (S) | 0     | 0  | 12 | 0    | 0 | 1 | 0        |
| やぶきた        | (S) | 金谷5号      | (S) | 0     | 0  | 21 | 0    | 0 | 1 | 0        |

$\chi^2(2, 0.90) = 0.21, \chi^2(2, 0.50) = 1.39, \chi^2(2, 0.10) = 4.61$

表-46 主要品種および系統の輪斑病抵抗性に関する遺伝子型

| 表 現 型            | 遺 伝 子 型            | 品 種・系統名                                                                                                             |
|------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 高度<br>抵抗性<br>(R) | $Pl_1Pl_1$ ___     | べにほまれ べにひかり べにふうき いんど べにふじ<br>印雑131 ただにしき ふうしゅん くりたわせ みなみさやか<br>からべに 大葉烏龍 三叉枝蘭 青心大ぼん 黄柑                             |
|                  | $Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$ | べにたちわせ あかね ほうりょく さつまべに べにかおり<br>やえほ みよし いずみ たかちほ うんかい たまみどり<br>あさぎり ひめみどり やまなみ こまかげ おくひかり Z1<br>星野緑 金谷15号 枕崎4号 枕崎5号 |
|                  | $Pl_1pl_1Pl_2pl_2$ | はつもみじ ろくろろう こやにし しゅんめい S6 枕崎7号<br>枕崎8号 ME52 Nka-O-3                                                                 |
|                  | $Pl_1pl_1pl_2pl_2$ | さやまかおり やまとみどり するがわせ おくみどり NN27<br>みなみかおり さとうわせ かなやみどり あさのか 静在16<br>おおいわせ 埼玉9号 金谷7号 宮系2号 枕崎11号<br>枕崎13号 枕崎16号        |
| 中度<br>抵抗性<br>(M) | $pl_1pl_1Pl_2Pl_2$ | 牧園大茶樹 枕崎1号 長崎2号                                                                                                     |
|                  | $pl_1pl_1Pl_2pl_2$ | ゆたかみどり めいりょく ふじみどり みねかおり 雲竜茶<br>くらさわ やまかい Nka-O-278 枕崎18号 枕崎23号                                                     |
| 罹病性<br>(S)       | $pl_1pl_1pl_2pl_2$ | やぶきた あさつゆ さえみどり とよか さやまみどり<br>おくゆたか おくむさし なつみどり ほくめい ふくみどり<br>はるみどり 三重260号 金谷5号                                     |

ロで持つ場合である。表現型で罹病性を示す場合は2種の抵抗性遺伝子  $Pl_1, Pl_2$  を持たない遺伝子型が対応する。

遺伝子型  $Pl_1Pl_1$  - を持つ品種は‘べにほまれ, べにひかり, べにふうき, いんど, べにふじ, 印雑131, ただにしき’などの紅茶用品種として育成されたアッサム

雑種と‘大葉烏龍，三叉枝蘭，青心大ばん，黄柑’などの台湾のウーロン茶用品種および‘ふうしゅん，みなみさやか，くりたわせ’などの緑茶用品種が含まれていた。この中で日本在来種だけに由来する品種は‘ふうしゅん’と‘くりたわせ’だけであり，この遺伝子型に含まれる品種は海外遺伝子を導入した品種が中心であった（表-46）。

表現型が抵抗性で， $Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$ の遺伝子型を持つ品種は‘やぶきた’のような罹病性品種と交配するとその $F_1$ は高度抵抗性と中度抵抗性が1：1に分離する。この遺伝子型には‘べにたちわせ，あかね，ほうりよく，さつまべに，べにかおり，いずみ，うんかい’などのアッサム雑種，‘たかちほ，ひめみどり，たまみどり，‘Z1’などの日本在来種および‘やまなみ’のような中国導入種後代からの選抜品種が含まれ， $Pl_1$ 遺伝子をホモに持つ遺伝子型と同様，海外導入種との交雑品種が多く含まれた。

表現型が抵抗性で， $Pl_1pl_1Pl_2pl_2$ の遺伝子型を持つ品種は‘やぶきた’など罹病性品種と交配した場合，その $F_1$ は高度抵抗性，中度抵抗性および罹病性が2：1：1に分離する。この遺伝子型を持つ品種/系統は‘はつもみじ，しゅんめい，こやにし，ろくろう，枕崎7号，枕崎8号，ME52，S6’などで，‘はつもみじ’を除けばすべて日本の在来種由来の品種である。

表現型が高度抵抗性で， $Pl_1pl_1pl_2pl_2$ の遺伝子型を持つ品種は，罹病性品種との交配によりその $F_1$ は高度抵抗性と罹病性が1：1に分離する。この遺伝子型には‘さやまかおり，やまとみどり，するがわせ，おくみどり，かなやみどり’など日本在来種から育成された代表的な高度抵抗性の煎茶用品種が含まれた。

中度抵抗性を示す遺伝子型は，高度抵抗性遺伝子 $Pl_1$ を持たないため $pl_1pl_1Pl_2Pl_2$ あるいは $pl_1pl_1Pl_2pl_2$ のどちらかの遺伝子型である。中度抵抗性遺伝子 $Pl_2$ を2つ持つ遺伝子型，すなわち $pl_1pl_1Pl_2Pl_2$ は，‘やぶきた’などの罹病性品種と交配すると，次代はすべて中度抵抗性を示す。この遺伝子型を持つ品種・系統は少なく，‘牧園大茶樹，枕崎1号，長崎2号’などが該当した。

表現型が中度抵抗性で遺伝子型が $pl_1pl_1Pl_2pl_2$ の品種は‘ゆたかみどり，めいりよく，ふじみどり，みねかおり，くらさわ’など多収性の品種が多くこの遺伝子型に含まれた。この遺伝子型は‘やぶきた’などの罹病性品種との交配により $F_1$ は中度抵抗性と罹病性が1：1に分離する。

罹病性品種は2種類の優性な抵抗性遺伝子， $Pl_1$ ， $Pl_2$ を持たないため遺伝子型はすべて $pl_1pl_1pl_2pl_2$ となる。

この遺伝子型には‘やぶきた，あさつゆ，さえみどり，さやまみどり，ほくめい，おくゆたか，はるみどり’など多くの優良な煎茶用品種が含まれた。

### c 考察

わが国で育成された主要な緑茶（煎茶，かまいり茶）および紅茶用品種/系統の輪斑病抵抗性に関する表現型と遺伝子型について明らかにした。病害抵抗性に関する遺伝子型は選抜指標として重要であり，イネではいもち病（清沢，1974；八重樫ら，1983；；NOMURA and KIYOSAWA，1992），オオムギでは縮萎縮病（早乙女ら，1990）などの選抜に利用されている。

チャの輪斑病高度抵抗性遺伝子 $Pl_1$ をホモに持つ品種の中で‘べにほまれ，べにひかり，べにふうき，いんど，べにふじ’などは紅茶用品種として育成されたアッサム雑種であり，いずれも海外から導入した遺伝資源が利用されている。この中で‘べにひかり’は前節で示したとおり $Pl_2$ 遺伝子に関してホモであり，遺伝子型は $Pl_1Pl_1Pl_2Pl_2$ である。緑茶用品種の‘みなみさやか’もわずかながら海外導入種の遺伝子を含んでいる（古野ら，1997）。 $Pl_1$ 遺伝子をホモに持つグループの中で日本在来種から育成された品種は‘ふうしゅん’と‘くりたわせ’だけである。これはアッサム種の多くが輪斑病に対して表現型で高度抵抗性を示し，遺伝子型でも高度抵抗性遺伝子 $Pl_1$ をホモに持つものが3/4を占めることから，これらを親として育成された品種は日本在来種同士の組合せよりも $Pl_1$ 遺伝子をホモに持つ機会が大きい結果と思われる。 $Pl_1$ 遺伝子をホモに持つ遺伝子型の品種では，交雑後代は必ず高度抵抗性を示すことから選抜時に輪斑病抵抗性の検定が省略できるためその他の対象形質に絞って選抜できることから大幅な効率化が可能となる。

$Pl_1$ 遺伝子をホモに持つ遺伝子型あるいは $Pl_1$ 遺伝子をヘテロに持ち，かつ $Pl_2$ 遺伝子をホモ持つ遺伝子型にはアッサム種や中国（台湾を含む）からの海外導入種が関与している品種が多い。そして $Pl_1$ 遺伝子あるいは $Pl_2$ 遺伝子など優性の遺伝子が脱落していく遺伝子型になるに従って日本の在来種由来の品種の割合が増えていくのが認められた。このことからわが国の輪斑病抵抗性育種における海外遺伝子の役割が大きいことがわかる。

‘やぶきた，あさつゆ，さえみどり，ふくみどり，おくゆたか’などわが国の主要な煎茶用品種には罹病性の品種が多い。これは，わが国の煎茶用品種はこれまで品質優良な‘やぶきた’あるいは‘あさつゆ’を母本として育種を行ってきた結果である（古野，1996）。罹病性品



種の中で‘やぶきた’の血を引くものとして、‘さえみどり’、とよか、ふくみどり、ほくめい、はるみどり’などがある。一方、‘あさつゆ’の血を引くものとして‘おくゆたか’がある（淵之上，1986）。

主要な煎茶用品種で表現型が高度抵抗性を示す品種は、‘さやまかおり、おくみどり、かなやみどり、やまとみどり、おいわせ’などがあるが、これらはすべて高度抵抗性遺伝子  $Pl_1$  を1つ持つことによって高度抵抗性を発現していた。

輪斑病抵抗性育種を行う上からは、罹病性品種を片親とした場合、必ず一方の親には抵抗性品種、できれば  $Pl_1$  遺伝子をホモに持つ品種を選択することが望ましい。この場合、特に煎茶用品種の育種では渋味が強いのはマイナス要因となることからアッサム種などよりもカテキン含量の低い日本在来種の中からこのような抵抗性品種を選択するほうが煎茶品質の上からは有利である。このため日本在来種からこのような  $Pl_1$  遺伝子をホモにもつ優良な遺伝資源を発掘することが重要となる。

### 6 育成品種の輪斑病抵抗性による親子検定

チャの品種の中には来歴に疑問の持たれている品種がある。品種育成では多くの個体を扱い、チャのような永年生木本作物では育種に特に長い年月を必要とするためこの間に異品種の混入などが起こることは十分考えられる。一方、チャは葉の大小、雌ずいの形態などを除くと比較的形態的な特徴に乏しいため品種の識別が困難な場合が多い（山口ら，1996）。

そこで、本節では来歴に疑問の持たれているいくつかの品種および類似品種について輪斑病抵抗性の表現型と遺伝子型に基づいて解析を行った。

#### a 材料および方法

交雑育成品種の‘ゆたかみどり、めいりよく、しゅんめい、おくゆたか’について輪斑病抵抗性の表現型と遺伝子型から見た親子関係について検討した。

また、類似品種として‘かなやみどり’と‘NN12’、‘ろくろう’と‘こやにし’、‘ひめみどり’と‘S 6’について表現型と遺伝子型の比較を行った。

#### b 結果

‘ゆたかみどり、おくゆたか、しゅんめい、めいりよく、かなやみどり’および‘NN12’の育成系統図を図-26に示した。

‘ゆたかみどり’は‘あさつゆ’の自殖によって育成さ

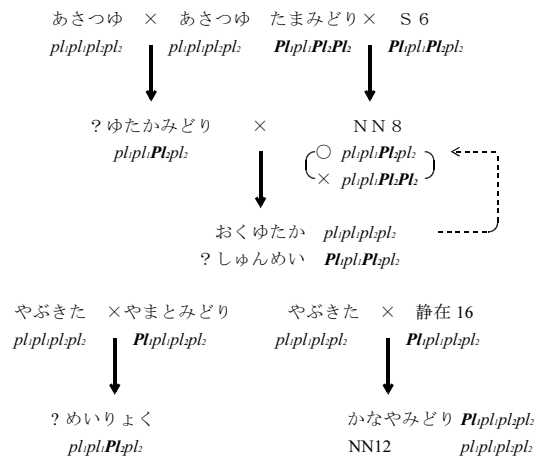


図-26 輪斑病抵抗性の表現型と遺伝子型による親子検定

○は後代の遺伝子型から推定された遺伝子型。  
 ×は棄却された遺伝子型。  
 ?は親子関係に疑問のある品種。

れた品種とされている。‘ゆたかみどり’の表現型は中度抵抗性で、遺伝子型は表-46にみられるように  $pl_1pl_1Pl_2pl_2$  である。一方、親となった‘あさつゆ’は罹病性のため遺伝子型は  $pl_1pl_1pl_2pl_2$  である。このため‘ゆたかみどり’が‘あさつゆ’の自殖とすると‘ゆたかみどり’の  $Pl_2$  遺伝子の由来が説明できないことから、‘あさつゆ’の自殖には疑問がもたれる。

‘おくゆたか’と‘しゅんめい’はともに‘ゆたかみどり’×‘NN 8’の組合せによって育成された兄弟品種である。‘NN 8’の輪斑病抵抗性は中度抵抗性であることが遺伝資源の抵抗性の評価で確認されているので遺伝子型は  $pl_1pl_1Pl_2Pl_2$  あるいは  $pl_1pl_1Pl_2pl_2$  のいずれかである。一方、‘おくゆたか’は罹病性のため遺伝子型は表-46にみられるように  $pl_1pl_1pl_2pl_2$  である。‘しゅんめい’は表現型は高度抵抗性を示し、遺伝子型は  $Pl_1pl_1Pl_2pl_2$  である。両品種の親となった品種の遺伝子型を考慮すると、‘NN 8’の遺伝子型を  $pl_1pl_1Pl_2pl_2$  と仮定すると‘おくゆたか’が生じることは可能であるが、‘しゅんめい’の場合、‘NN 8’の遺伝子型を  $pl_1pl_1Pl_2Pl_2$  あるいは  $pl_1pl_1Pl_2pl_2$  のどちらかを仮定しても‘しゅんめい’の高度抵抗性遺伝子  $Pl_1$  を説明できない。このことから少なくとも‘しゅんめい’についてはその来歴が疑われた。

‘めいりよく’は‘やぶきた’（遺伝子型  $pl_1pl_1pl_2pl_2$ ）と‘やまとみどり’（ $Pl_1pl_1pl_2pl_2$ ）の交配によって育成された品種である。‘めいりよく’の遺伝子型は表-46に見られるように  $pl_1pl_1Pl_2pl_2$  であることから‘やぶきた’と‘やまとみどり’の組合せでは‘めいりよく’の中度

抵抗性遺伝子  $Pl_2$  を説明することができない。

類似品種として‘かなやみどり’と‘NN12’、‘ひめみどり’と‘S6’、‘こやにし’と‘ろくろう’がある。‘かなやみどり’と‘NN12’はともに‘やぶきた’×‘静在16’の組合せによって育成された兄弟品種である。‘静在16’は輪斑病に高度抵抗性を示し、遺伝子型は  $Pl_1pl_1pl_2pl_2$  である。‘かなやみどり’の遺伝子型は花粉親の‘静在16’から高度抵抗性遺伝子  $Pl_1$  を受け継ぎ、 $Pl_1pl_1pl_2pl_2$  の遺伝子型で、表現型は高度抵抗性を示した。一方、‘NN12’は‘静在16’から  $pl_1$  遺伝子を受け継ぎ、 $pl_1pl_1pl_2pl_2$  の遺伝子型で、表現型は罹病性となった。従って、同じ交配組合せから高度抵抗性の‘かなやみどり’と罹病性の‘NN12’が育成されても矛盾はなく、両品種の識別は輪斑病の表現型で容易に可能である。

‘ひめみどり’と‘S6’は日本在来種の自然交雑種である。遺伝子型は表-46に見られるように‘ひめみどり’が  $Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$ 、‘S6’は  $Pl_1pl_1Pl_2pl_2$  であり遺伝子型が異なるため識別可能であるが、表現型はともに高度抵抗性を示すことから輪斑病菌の分生子接種による表現型の検定では識別できない。

‘こやにし’と‘ろくろう’は遺伝子型が  $Pl_1pl_1Pl_2pl_2$  で同じであり、表現型も高度抵抗性を示すことから輪斑病抵抗性では識別できなかった。

### c 考察

来歴に疑問が持たれている交雑育成品種‘ゆたかみどり’、しゅんめい’および‘めいりょく’について輪斑病抵抗性の表現型と遺伝子型の面から親子関係を検討した。また、識別が極めて困難な類似品種についても識別を試みた。

‘ゆたかみどり’は早生で多収、強健の品種として南九州の暖地を中心に栽培され、‘やぶきた’に次ぐ普及品種である（日本茶業中央会、1999）。中度抵抗性品種の‘ゆたかみどり’は表-46に見られるとおりの遺伝子型は  $pl_1pl_1Pl_2pl_2$  である。従って  $Pl_2$  遺伝子は‘あさつゆ’ ( $pl_1pl_1pl_2pl_2$ ) の自殖では説明が出来ないことから花粉親は  $Pl_2$  遺伝子を1つ以上持つ次の4つの遺伝子型、 $Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$ 、 $Pl_1pl_1Pl_2pl_2$ 、 $pl_1pl_1Pl_2Pl_2$ 、 $pl_1pl_1Pl_2pl_2$  のいずれかを持つ品種が推定される。‘ゆたかみどり’は新葉の毛茸密度が「中」でその長さも日本の在来種よりもやや短いことからアッサム種の影響が認められる。また、フラボノイド成分による分類でもアッサム種に共通の成分が認められている（武田、1983）。このようなことから花粉親はアッサム雑種が有力であり、その遺伝子

型は  $Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$  あるいは  $Pl_1pl_1Pl_2pl_2$  などの遺伝子型が考えられる。

‘めいりょく’は輪斑病に対する表現型が中度抵抗性を示し、遺伝子型は  $pl_1pl_1Pl_2pl_2$  である。‘やぶきた’、‘やまとみどり’の組合せでは中度抵抗性遺伝子  $Pl_2$  が説明できない。この品種は葉形などの形態が高度抵抗性品種‘Z1’と非常によく似ている。‘Z1’の遺伝子型は表-46に見られるように  $Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$  であることから‘やぶきた’と‘Z1’の組合せから‘めいりょく’と同じ遺伝子型が得られる確率は  $1/2$  であり、十分可能性がある。交配記録をみると、‘めいりょく’の交配が行われた1959年には‘やぶきた’×‘やまとみどり’の交配の他に‘やぶきた’×‘Z1’の組合せも実施されており、どこかで取り違えが起こった可能性が考えられる。

‘ゆたかみどり’と‘NN8’の組合せから‘おくゆたか’と‘しゅんめい’が育成されている。この場合、‘しゅんめい’は親となった‘NN8’の表現型が中度抵抗性のため‘ゆたかみどり’との組合せでは高度抵抗性個体は生じない。育種の過程で‘おくゆたか’と‘しゅんめい’を同時に間違える確率は非常に低いことを考慮すると、‘NN8’の遺伝子型は  $pl_1pl_1Pl_2pl_2$  と推定することができる。

上記のようにある品種の遺伝子型が分からなくても、表現型と両親の遺伝子型から推定できる場合がある。‘ふうしゅん’は‘Z1’×‘かなやみどり’の組合せによって育成された品種である。‘ふうしゅん’の遺伝子型は  $Pl_1Pl_1-$  のため、 $F_1$  世代では  $Pl_2-pl_2$  遺伝子の構成が解析できない。これを戻し交雑を行って検定するには大変な労力と時間を要するが、‘Z1’の遺伝子型が  $Pl_1pl_1Pl_2Pl_2$  であり、‘かなやみどり’の遺伝子型が  $Pl_1pl_1pl_2pl_2$  であることを利用すると‘ふうしゅん’の  $Pl_2-pl_2$  の遺伝子構成は一元的に決まり、遺伝子型は  $Pl_1Pl_1Pl_2pl_2$  であることがわかる（図-27）。

最近、田中・山口（1996）はDNA分析の結果に基づき‘ゆたかみどり’、‘めいりょく’の来歴について検討した結果、‘ゆたかみどり’は‘あさつゆ’の自殖とは異なること、また、‘めいりょく’の花粉親は‘やまとみどり’では説明できないが、‘Z1’では矛盾がないことを明らかにした。これらについては今後さらに検討する必要がある。

以上のように、わが国の主要品種および系統の輪斑病に対する遺伝子型の分類を行った結果、抵抗性育種に果たした海外導入種の役割が非常に大きいことが明らかになった。また、輪斑病抵抗性の遺伝子型から類似品種の識別あるいは親子鑑定が可能であり、今後識別の手段としても利用できることが明らかになった。

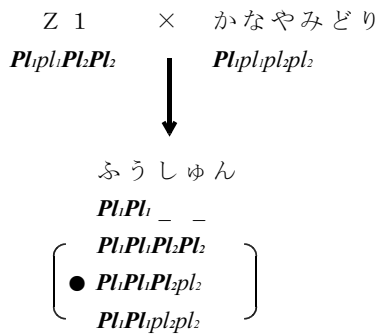


図-27 両親の遺伝子型から推定した‘ふうしゅん’の遺伝子型  
 ●は両親の遺伝子型から推定された遺伝子型

### 7 要約

*P. longiseta* 菌によって起こるチャ輪斑病に対するチャの抵抗性は2つの独立した抵抗性の異なる優性遺伝子  $Pl_1$ （高度抵抗性遺伝子）と  $Pl_2$ （中度抵抗性遺伝子）によって支配されており、 $Pl_1$  は  $Pl_2$  に対して上位の関係にあった。これにより種々の遺伝子型をもった品種の交配組合せを検定した結果、すべての組合せで上記の遺伝様式が矛盾なく説明できることを明らかにした。

抵抗性の遺伝様式の解明により、輪斑病抵抗性品種育成の基礎となる個々の品種の抵抗性に関する遺伝子型の解析が可能となった。

アッサム種と中国種の変種間および中国種の変種内の輪斑病抵抗性に関する遺伝子型の分化を検討した。チャの輪斑病抵抗性に関する遺伝子型はアッサム種 (var. *assamica*) と中国種 (var. *sinensis*) で大きな違いが認められた。中国種の中でも中国からの導入種と日本の在来種では表現型および遺伝子型の構成に大きな違いが認められた。中国導入種は、表現型では高度抵抗性が98%を占めアッサム種と明瞭な差異は認められなかった。しかし、遺伝子型では高度抵抗性遺伝子  $Pl_1$  をホモに持つ系統の割合が、アッサム種の72%に対し、中国導入種は51%と低く、また、7種の遺伝子型すべてに対応する系統が認められるなど遺伝子型ではアッサム種よりもはるかに大きな変異が認められた。中国種の中では、日本在来種の遺伝子型の多型が顕著であり、導入中国種よりもさらに大きな変異が認められた。日本在来種の場合、高度抵抗性系統はその83%が高度抵抗性遺伝子を1つもつことによって高度抵抗性を発現していた。また、中国種に分類しているインドのダージリン原産のCd系統群は、遺伝子型の変異が小さく、アッサム種に近い遺伝子型を示した。

高度抵抗性遺伝子  $Pl_1$  をホモに持つ系統では、‘べにひかり、三叉枝蘭’および‘PKS292’が  $Pl_1Pl_1Pl_2Pl_2$ 、‘Ace37’が  $Pl_1Pl_1Pl_2pl_2$ 、‘Abo27’、‘IRN17’および‘IND75’が  $Pl_1Pl_1pl_2pl_2$  の遺伝子型であることを明らかにした。これにより高度抵抗性遺伝子  $Pl_1$  と中度抵抗性遺伝子  $Pl_2$  によって構成されるチャの輪斑病抵抗性の9種類の遺伝子型が全部確認され、それに対応する品種が明らかになった。

わが国の主要な品種および系統88について遺伝子型とそれに対応する表現型を明らかにした。輪斑病に対して高度抵抗性品種の多くは海外導入種が関与しており、海外遺伝資源が輪斑病抵抗性育種に大きな役割を果たしていた。煎茶用の品種では、罹病性の割合が高かったが、これは罹病性品種の‘やぶきた’を交配母本として多用してきた結果と思われる。

チャ輪斑病抵抗性に関する表現型と遺伝子型により、親子関係の検定および類似品種の識別を行った。その結果、‘めいりよく、ゆたかみどり’および‘しゅんめい’の来歴に疑問がもたれた。類似品種では、‘ひめみどり’と‘S6’および‘かなやみどり’と‘NN12’は遺伝子型に違いが認められ識別可能であった。特に、‘かなやみどり’と‘NN12’は表現型も高度抵抗性と罹病性で異なっており接種検定で容易に識別可能であった。‘ろくろう’と‘こやにし’は表現型および遺伝子型が全く同一であり識別できなかった。

高度抵抗性遺伝子  $Pl_1$  の出現頻度はアッサム種で高く日本在来種で最も低かった。また、中国本土の材料はアッサム種と日本在来種を両極とした中間に位置したことから、アッサム種の分布するインド、ミャンマー、ベトナムから中国本土、日本への地理的な形質傾斜が認められた。

輪斑病抵抗性に関する遺伝子型の解析は、抵抗性育種に対して理論的な裏付けを可能とし、今後展開されるチャの輪斑病抵抗性のDNAレベルでの研究にも貴重な知見を提供するものと思われる。

## V 総合考察

### 1 わが国チャ遺伝資源の多様性

農林水産省のジーンバンクに登録、保存されているわが国のチャ遺伝資源は1999年末現在6,295点である（農業生物資源研究所, 1999）。これはチャの原産地と目される中国の2,429点（CHEN *et al.*, 1997）を大きく上回っている。また、保存されている遺伝資源も多様性

に富み、日本をはじめ中国（台湾を含む）、韓国、インドネシア、ベトナム、ミャンマー、バングラディシュ、インド、スリランカ、イランなど古くからチャの分布が見られる地域を網羅している。このうち野菜茶業研究所（枕崎）では他場所との重複保存も含めて約4,000点以上をほ場で保存しており、この中には耐寒性が非常に弱く、枕崎のような暖地でしか露地栽培できないアッサム種も800点以上保存している。これらの中には野菜茶業研究所（枕崎）の前身である枕崎紅茶指定試験地時代（1929年～1960年）に導入されたアッサム種や1932年から始まった交雑育種によって育成されたアッサム種と日本在来種との変種間雑種が多数含まれている（茶業試験場、1963）。また、1950年代には海外との活発な種子交換を行い、世界に類を見ない充実した遺伝資源の保有場所となった。

本試験は野菜茶業研究所（枕崎）で保存されているこのようなチャ遺伝資源についてその多様性を評価し、それに基づいてチャの変種間の分類とわが国在来種の持つ遺伝的多様性について論議した。

チャ遺伝資源の多様性を論ずるにはチャの起源について考える必要がある。これについてはDE CANDOLL（1883）は「栽培植物の起源」で、チャの起源を「インド平原と中国の平原から分離する山岳地方で自然発生した」として一元説を提唱した（大石、1983）。これは具体的には長江（揚子江）、メコン川、サルウィン川、イラワジ川、ブラマプトラ川の上流地帯を指し、いわゆる前チベット地帯である。これに対して、ジャワでチャの研究をしていたCOHEN STUART（1919）は、「中国の小葉種はアッサムとは全く無関係に東部地域において発生した可能性がある」として二元説の立場をとった（大石、1983）。

上記二人の仮説に代表されるようにチャの起源については古くからいろいろな考え方が出されているが、最近では呉（1987）、橋本・志村（1978）、HASHIMOTO（1985）、鳥屋尾（1988）、庄（1992）などが提唱する中国西南部あるいは雲貴高原付近であろうとする一元説が有力である。一方、喬木で大葉、耐寒性の弱いアッサム種と灌木で小葉、耐寒性の強い中国種との間を埋める中間のものがほとんど発見されていないために二元説にも一理ある。

これについてわが国のチャ遺伝資源を調査すると、成葉の大きさでは葉長が8.0cm、葉幅では3.5～4.0cmを境界として多少の重なりはあるが大部分のアッサム種と中国種は分類された。成葉の色、毛茸特性、花器形態でもアッサム種と中国種は明瞭に分類された。また、変種

内の変異では上記の形質ではアッサム種の方が変異が大きい傾向が認められた。アッサム種と中国種のこのような大きな変種間差異は形態的特性だけではなく、耐凍性あるいはカフェイン、タンニンなどの葉内化学成分でも明瞭に認められた。耐凍性では、アッサム種は耐凍性2（極弱）～5（中）にほとんど集中して分布しており、中国種が6（やや強）～7（強）に分布しているのとは対照的であった。葉内化学成分では、カフェインの場合3.5%、タンニンでは18%前後を境界にして分類され、いずれもアッサム種の方が多かった。

本研究では上記のようにわが国のアッサム種、中国種について形態的だけでなく、耐凍性、耐病性、成分等にも大きな変異があることを明らかにしたが、注目すべきは、これだけの変異があるにもかかわらず、この二変種間には全く生殖的隔離が見られず、自由に交雑でき、後代が容易に得られることである（BEZUBARUAH and SAIKIA, 1977；鳥屋尾 1988）。このような生殖的障壁の低さは、二変種間で形態的変異が大きいことを根拠に別個に発生したとする説に対する有力な反証になるのではないと思われる。

VAVILOV（中村英司訳 1980）は「植物地理的微分法」を採用してその起源と分布を論じた。これにより「遺伝子中心説」を提唱したが、それによると、①発生中心地には変異が多数集積されている、②地理的進化の過程には中心から遠ざかるにつれて優性の形質が漸次脱落する、③二次的中心には劣性形質を持つ型が存在するということである。わが国の中国導入種は、1937～1938年に当時台湾大学の山本亮教授によって大量に導入されたものが大部分を占めており、収集地域は長江流域の安徽省、江西省、浙江省の材料である。これらを中心に構成されているわが国の中国原産種は変異の多様性が比較的小さいことから長江流域は中心地からやや外れているように思われる。このようなことからチャの原産地は長江流域に隣接する中国西南部周辺地域である可能性が高い。

近年、チャの原産地に関して生化学的な研究が進み、TAKEOら（1992）は茶葉の香気成分中の主要成分であるモノテルペンアルコールの組成比をテルペンインデックス（＝リナロール/ゲラニオール）として表し、その地理的分布の解析からチャの原産地を雲南からアッサムにかけての地域と推測している。また、LUら（1992）はエステルゼアイソザイム分析から、茶樹の形態は、大葉種から中葉種そして小葉種の方向に分化し、樹型では、喬木型から小木型そして灌木型に分化したのではないかと推測している。

最近、中国ではチャの広範な遺伝資源調査が行われており、中国西南部にはこれまで知られていなかった大葉種、中葉種の存在が明らかになってきた(陳・陳, 1979)。チャの原産地と考えられている中国の内陸部の四川省、雲南省、貴州省には大きな変異を持った茶樹が見られ、var. *sinensis*と var. *assamica*の中間タイプの「中葉種」の存在も確かめられたことは一元説に有力な根拠を与えるものと思われる。

中国の雲南省南部からミャンマー、ラオス、カンボジア、ベトナムにかけては多様な変異を含むアッサム種が分布しており、var. *sinensis*との中間タイプとみられる材料も分布することが次第に明らかになってきた。このため第2章第1節でみた耐凍性の二変種間の不連続性などはこれらの地域の材料がないことによる供試材料の偏りに基づくものと考えられる。

アッサム種と中国種の二変種間には形態的にも生理生態的にも大きな差異が見られたが、中国種 (var. *sinensis*) に属するわが国の在来種およびヤマチャは非常に変異の小さい均質な集団であることが本研究で明らかになった。

わが国には在来種の他に九州、四国、中国地方の中山間部にヤマチャと言われる茶樹がある。このヤマチャについてはわが国固有種か渡来種かについて意見が分かれている。谷口(1936)は「日本ヤマチャの研究」の中で、ヤマチャのあるところがかつて人が住んだ足跡のある場所に限られており、人類の営みと深い関係があることを指摘し、かつて人の住んだことのない所ではヤマチャは存在しないことから渡来説を唱えた。これについて大石(1983)は野生植物の種の進化と移動によってわが国にもたらされた可能性をあげ、その時期については特定しがたいとして史前帰化植物とする考え方を示した。

これについて最近 DNAレベルで日本の在来種、ヤマチャの研究が行われている。松元ら(1994, 1999)はPAL (Phenylalanine ammonia-lyase) の遺伝的多様性を RFLPにより解析し、得られた多型をもとにチャ遺伝資源の分類評価を行った結果、日本在来種、ヤマチャは主要なA, B, Dの3本のバンドの組合せでほとんどの系統が分類できることを示した。また、PALの遺伝子頻度は全国でほぼ一定しており、同じ集団である可能性が高いとしている。一方、中国の材料ではこの他に多数のバンドが出現し、組合せの数は遙かに多い。また、韓国の材料も中国と同様に多くの多型が検出されており、日本の在来種・ヤマチャと同様の多型を示すものも認められている(松元ら, 1997, 1998)。韓国の材料について

日本在来種に近いものと、中国種あるいはアッサム雑種に近いものがあることは本研究で行った花器形態の主成分分析およびクラスター分析でも認められている。

本研究では、わが国のチャ遺伝資源は形態的にも生理生態的にも非常に大きな変異をもった集団であることを明らかにしたが、それにはアッサム種を始め海外から導入した中国種が大きな役割を果たしていた。これらの多様な遺伝資源はこれまでは主に紅茶の育種母本として用いられてきたが、わが国の紅茶産業が1971年6月の紅茶の輸入自由化を契機に壊滅したため多くのチャ遺伝資源はその後未活用のまま保存されてきた。このようなチャ遺伝資源も、最近の嗜好の多様化や環境保全型茶業の推進に伴う耐病虫性品種の育種、さらには茶の機能性成分の利用などチャ(茶)を取り巻く環境が大きく変わってきたことから、非常に重要な意味を持つことになった。

遺伝資源を取り巻く環境は年々厳しくなっている。遺伝資源は人類共通の財産という基本理念は合意されているが、原産国の多くが開発途上国であり、利用する側は先進国であるために、様々な利害がからみ調整が難航している。わが国のチャ遺伝資源は明治中期から1960年代までに収集されたものが大部分であり、その後の遺伝資源の導入はほとんど行われていない。この原因として1960年代以降は海外からのチャ遺伝資源の導入が困難になったことがあげられる。次に、国内では高度経済成長により緑茶生産が活発になり、収量、品質の優れた‘やぶきた’に転換したため多様なチャ遺伝資源の導入の必要性が小さくなったことがあげられる。しかしながら、今後は多様化する育種目標を達成するためには特性評価の強化、とりわけ多面的に特性評価を行うことが重要である。また、多くのチャ遺伝資源を保有している国々との共同研究や遺伝資源の交換を通してわが国遺伝資源の充実を図ることも必要と思われる。

## 2 遺伝様式の解析による輪斑病抵抗性の育種

*Pestalotia* (現在は*Pestalotiopsis*) *longisetata* 菌によって起こるチャ輪斑病は1973年頃から静岡県で‘やぶきた’を中心に発生して大きな被害を与えた。

本病はチャへの病原性が強く、品種間差異が大きいことが特徴である(安藤ら, 1985; 池田ら, 1986; 堀川, 1984 b, 1987 a; TAKEDA, 1988 a, 武田ら, 1996; 古野, 1996)。わが国の主要品種‘やぶきた’は特にこの病害に弱く、‘やぶきた’の広域普及に伴って急速に全国に広がり、この病害は短期間のうちに炭疽病と並ぶチャの重要病害となった(江塚・安藤, 1994)。

このようなことから、輪斑病抵抗性品種の育成は重要な育種目標となっている。抵抗性育種を効率的に行うためには、育種素材の抵抗性の評価と抵抗性の遺伝様式の解明が重要である。そこで、本試験ではチャ遺伝資源の抵抗性を評価し、交配実生群を用いて抵抗性の遺伝様式を検討した。

*P. longiseta* 菌によって起こるチャの輪斑病に対する抵抗性は2種類の抵抗性の異なる独立の優性遺伝子の働き合いで発現し、高度抵抗性遺伝子 ( $Pl_1$ ) は中度抵抗性遺伝子 ( $Pl_2$ ) に対して上位に働くことを明らかにした。また、罹病性の‘やぶきた’はこれら2種の抵抗性遺伝子を持たない二重劣性ホモの遺伝子型であることを利用し、これに他の品種・系統を交配してその  $F_1$  の分離比を解析することで多くの遺伝資源の遺伝子型を明らかにした。これによりチャの輪斑病抵抗性育種は極めて効率的に実施出来る体制が確立された(武田ら, 1996; 武田, 1997, 1998, 1999)。

輪斑病の抑制には抵抗性品種の利用が最も効果的である。わが国の緑茶用の優良品種である‘やぶきた、あさつゆ’は輪斑病に弱く、これらを母本としたわが国の多くの緑茶用品種には輪斑病に弱いものが多い(古野, 1996)。しかしながら、日本の在来種が必ずしも輪斑病に弱いわけではなく、第2章第3節で見てきたように在来種の約65%は高度抵抗性を示した。しかし、アッサム種および海外から導入した中国種では98%以上が高度抵抗性を示した。*P. longiseta* 菌による輪斑病は現在のところわが国だけに見られ、海外では報告をされていない日本特有の病害である(江塚・安藤, 1994)。これについて浜屋・堀川(1982)は、現在大きな被害を与えている輪斑病菌は‘やぶきた’に対して強い病原性を示すことから、‘やぶきた’の普及につれて*P. longiseta* 菌の中からこの品種に対して強い病原性を持つ菌が優勢になったのではないかと推定している。

静岡県では1970年頃から実生の在来種茶園を改植して‘やぶきた’への転換が急速に進められた(図-28)。これに対応するように*P. longiseta* 菌による輪斑病被害面積も急激に拡大し、1983年頃には静岡県、愛知県、三重県、鹿児島県、熊本県にも波及し、被害面積もそれぞれの県で20%程度に達したと推定された(堀川, 1984 b; 鬼木ら, 1986)。

このように短期間に輪斑病が拡大したのは次のような要因が考えられる。①罹病性品種‘やぶきた’の急激な増殖、②可搬型摘採機の普及による病原菌の拡散、③殺菌効果の高いベンズイミダゾール系殺菌剤に対する耐

性菌の出現などである。そして、静岡県に倣って全国的な‘やぶきた’への改植が始まり広範囲な苗の移動が全国的な蔓延を促進させたことも考えられる(浜屋・刑部, 1983)。ベンズイミダゾール系殺菌剤への耐性菌の出現は種々の作物で報告されているが(橋本1998)、チャでは1979年に初めて静岡県で検出され、1985年には全国的に分布しているのが確認された(鬼木, 1986; 堀川, 1986 b, 1987 c)。

*P. longiseta* 菌によって起こるチャの輪斑病に対して、アッサム種と中国およびインドから導入した中国種はほとんどの系統が高度抵抗性を示したが、その遺伝子型を見ると、変種間および中国種の変種内でもかなり構成が異なっていた。輪斑病抵抗性に対する遺伝子型の多様性は日本在来種が最も大きく、次いで中国本土の中国種が続き、アッサム種は極めて変異が小さかった。これは日本の在来種、中国本土の中国種そしてミャンマー、バングラディッシュ、インドなどのアッサム種地帯に向かう地理的勾配と見ることもできるが、日本在来種の形成から考えると、中国から輪斑病抵抗性に対して遺伝的に多様な比較的小さな集団が日本にもたらされ、わが国の在来種を形成したと考える方が妥当と思われる。このことについて山口ら(1996)は、花器形態の調査からわが国には比較的広がりの小さな茶樹集団が入って在来種が形成されたのではないかと推定している。松元ら(1996, 1997, 1998, 1999)も日本の在来種、韓国、中国の茶樹のPAL (phenylalanine ammonia-lyase) のRFLP分析により、日本の在来種、ヤマチャは非常に均質な集団であることを明らかにしている。このことはわが国の輪斑病抵抗性に関与する遺伝子型の多様性は日本に導入された中国本土のチャの集団の中に存在していた可能性が考えられる。また、輪斑病は古くからの重要病害である炭疽病と異なり、日本の各地の在来種をみるとほぼ一定の割合で中度抵抗性系統および罹病性系統が保存されていたことから、*P. longiseta* 菌による輪斑病は最近まで重

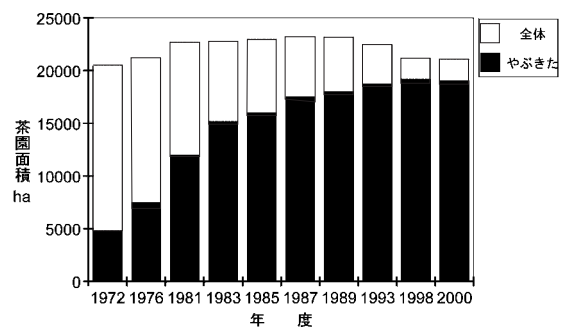


図-28 静岡県における‘やぶきた’の普及

要病害ではなかったことを示しており、このためにこれによる特別な淘汰圧が無かったことから自由交雑集団内で遺伝子が一定の頻度で保存される HARDY の平衡（松尾，1967）が保たれたのではないと思われる。

高度抵抗性遺伝子  $Pl_1$  を指標にアッサム種，導入中国種（日本在来種を除いた中国種）および日本在来種をみると，アッサム種では表現型で高度抵抗性を示した系統の 76% が  $Pl_1$  遺伝子をホモに持っていたが，中国からの導入種ではその比率は約 50% に低下し，日本在来種では更に低く，15% に留まった。このため，日本在来種では表現型で高度抵抗性を示す系統でもほとんどの場合 1 個の  $Pl_1$  遺伝子によって発現されているのが特徴であった。

輪斑病抵抗性育種は抵抗性の遺伝様式が解明されたことから，個々の遺伝資源の遺伝子型の解明が可能になった。今後，そのデータベースが整備されれば耐病性育種の大幅な効率化が実現する。特に， $Pl_1$  遺伝子をホモに持つ系統を片親に用いれば， $F_1$  は必ず一つ以上の  $Pl_1$  遺伝子を持つことから表現型はすべて高度抵抗性となり，抵抗性の検定が省略できる利点があり，大幅な育種の省力化が可能となる。

輪斑病抵抗性に関する遺伝子型がわかれば，交配親の選択，育種規模，選抜強度が予測でき，計画的な育種が可能となる。ここでは遺伝子型の推定に‘やぶきた’など罹病性品種と交配し，その  $F_1$  の表現型の分離比から親の遺伝子型を推定したために大変な労力を要した。現在，輪斑病高度抵抗性遺伝子  $Pl_1$  に連鎖する DNA マーカーの検出を進めており（田中ら，1999），今後有効なマーカーが見つければ抵抗性育種は大きく前進するものと思われる。

チャ輪斑病は現在のところわが国特有のチャの病害であるが，海外から導入したチャ遺伝資源にはこれに抵抗性のある遺伝子が高い頻度で存在することから抵抗性の育種素材として有望である。最近では‘やぶきた’とは異なった新しい香味を求めてこれら海外導入種との交雑が行われており，これによって育成された‘みなみかおり，みなみさやか，りょうふう，あさのか，ふじかおり’などはいずれも輪斑病に対して高度抵抗性である。これらは必ずしも輪斑病抵抗性育種を意識した交配母本の選択ではなかったと思われるが，このような導入品種の利用がわが国の輪斑病抵抗性品種に大きく貢献している。

### 3 新たな育種目標に対するチャ遺伝資源の役割

わが国の茶の消費は多くが緑茶であり，その大部分が

煎茶である。緑茶類の消費はここ 20 年間低下し続けてきたが，それを埋める形でウーロン茶，紅茶の消費が大きく伸び，茶全体の消費は 12～13 万 t でほぼ安定している（図-29）。

近年，缶あるいはペットボトル形態の商品が開発され，これによりウーロン茶，紅茶の消費が大きく伸びたが，その後緑茶でも同様の商品が開発され，緑茶の消費の漸減傾向に歯止めがかかるとともに茶の飲用形態にも大きな変化をもたらした。これまでの茶の消費動向からみて，飲料としての茶類の消費量は今後大きく伸びる可能性は少ないと思われるが，最近，粉末茶を利用した飲用以外の商品開発が活発となり，菓子，アイスクリーム，練り製品その他への使用が急激に増加している。また，茶の抽出物も衣料用，医療用，化粧品，入浴剤あるいはエアコンのフィルター等にも利用されるなど用途の拡大は目覚ましい（静岡県茶業会議所，1999）。

特に，茶の中に含まれているカテキンなどの機能性成分の利用は今後大いに期待される分野である。カテキンは前述したように 1980 年代になって多くの機能性が明らかにされた。カテキンは渋味あるいは苦渋味の成分であり，緑茶類とりわけ煎茶では一般に少ない方が適している。このためにカテキン含量の少ない日本在来種が専ら緑茶類の育種素材として用いられてきた。このように茶の機能性成分の利用は今後の茶の利用形態において飲用と並んで大きな産業に育つ可能性を秘めており，育種の分野においてもこの成分に着目した成分育種が重要になってきた。

そこで本研究ではわが国チャ遺伝資源のタンニン（カテキン）およびカフェイン含量の変異を明らかにし，その多様性をアッサム種，中国種の変種間および変種内の系統群間で比較検討した。ここではカテキン類をタンニンとして分析したが，茶のタンニンは大部分がカテキン類であることから茶ではタンニンはカテキンとほとんど

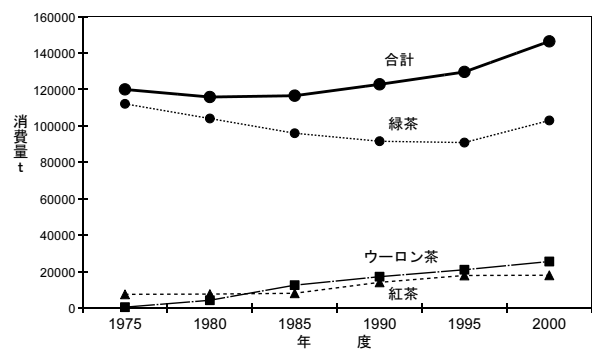


図-29 わが国における茶類の消費

同じである(中川, 1970 b). わが国のチャ遺伝資源のタンニン含有率の変異では, 10%未満の低タンニン系統から25%を超える高タンニン系統まで2.5倍を超す大きな変異がみられる. また, タンニン成分はアッサム種, 導入中国種, 日本在来種の順に含有率が低下するなど変種間および変種内の原産地間で変異が認められた.

カテキン(ここではタンニンとして分析)のように多量に含まれる成分でこのように大きな変異があることは, カテキンの成分育種の効果が高いことを示すものとして注目される. このようなことからタンニンが25%を超える系統の中から生育, 香気特性などの優れた1系統, 'IND113'を選抜し, 後代検定を行って高タンニンの育種素材の中間母本として農林登録(MAKURA 1号)を行った.

従来の育種であれば高タンニンは淘汰の対象となるが, 育種目標の多様化により非常に有用な形質として評価されるようになった. このように劣悪と思われる形質も評価の見方が変われば有用形質になりうることから, 遺伝資源の持つ変異の多様性の確保と多面的な評価が今後は重要になってくる.

カフェインはプリンアルカロイドの一種で中枢神経興奮, 強心, 利尿, 代謝亢進などの作用があり, また習慣性もあることから茶はコーヒーなどととも古くから嗜好飲料として飲まれている所以でもある. カフェインも2%未満の低カフェイン系統から5.5%を超える高カフェイン系統まであり, 2.7倍を超す大きな変異とタンニンと同様, アッサム種, 導入中国種, 日本在来種の順に低下する地理的な形質傾斜が認められている.

カフェインに関する成分育種では, 低カフェインが育種目標になる. 特に, 「食べるお茶」が普及するとカフェインの取りすぎが問題となる. 通常カフェインの成人1日当たりの摂取量は300mg程度までと言われており(村松, 1991), これは一番茶では6杯分に相当する量である. 低カフェイン茶の生産は製造工程で脱カフェインする方法もあるが(小泉ら, 1993), 品質の低下と能率の悪さから実用化が遅れている.

そこで本研究では遺伝資源の中から低カフェイン系統を選抜して育種素材化することを検討し, 日本在来種を中心に中国種の中からカフェイン含有率が2%未満の8系統を選抜した. 低カフェイン6系統を「やぶきた, あさつゆ」と交配してその後代のカフェイン含有率を分析した結果, 2%未満の個体が平均で5.5%出現したことから, 低カフェインの育種母本として利用できることが分かった.

低カフェインチャの育種法として, チャの近縁野生種

との種間雑種による方法がある. カメリア属のチャの近縁野生種では, チャ節(Section *Thea*)以外の種からはほとんどカフェインが検出されないことから(永田, 1986), 低カフェインチャの育種素材として検討する価値は大きい. これについてチャの品種「さやまかおり」にヤブツバキを交配して育成した9個体の種間雑種のカフェイン含有率はチャの1/10, 平均0.3%であった(武田ら, 1987 b). カメリア属近縁野生種の利用では, チャとの交雑親和性が問題になる. チャと近縁野生種との種間雑種の作出はこれまでも試みられているが, その成功率は非常に低い(BEZUBARUAH and SAIKIA, 1977; KATO and SHIMURA 1978; TAKEDA, 1990). 交雑親和性からみるとチャ節(Section *Thea*)に属するイラワジエンシス(*C. irrawadiensis*), タリエンシス(*C. taliensis*)をはじめ, カメリア節(Section *Camellia*)のヤブツバキ(*C. japonica*), パラカメリア節(Section *Paracamellia*)のキッシー(*C. kissi*)などが有望と思われる(TAKEDA, 1990).

その他の機能性成分としてアントシアニンも最近注目されている. アントシアニンは赤～紫褐色の色素でポリフェノールの一種であるが, 赤ワインやブルーベリーにみられるように機能性でも注目されるようになった(五十嵐ら, 2000).

チャの高アントシアニン系統として紅花チャがチャ遺伝資源の中にある. これは花卉が紅色をしており, 新芽は強い赤褐色(一番茶)から紫褐色(二・三番茶)を呈する. 本研究によりこの花色は1つの劣性遺伝子によって支配されており, 劣性ホモ(*r/r*)になった時に発現することを明らかにしたが, この紅色花色の個体は必ず根も赤くなることから播種して間もなく出てくる種子根の色で容易に選抜することができる(武田・根角, 1996). このため多収で高アントシアニン系統を比較的短期間で育成できる可能性が得られた.

チャの機能性成分と並んで今後重要な育種目標として病害抵抗性品種の育成がある. 特に, チャは年に3～4回新芽を収穫することから農薬散布回数が多い. 農薬の多散布は環境破壊につながることから抵抗性品種の育成は重要である.

チャの重要病害のうち, 輪斑病は本研究により抵抗性の遺伝様式が解明され, 理論的な抵抗性育種法が確立されたが, 抵抗性育種において海外遺伝資源が大きな役割を果たしていることも明らかになった.

輪斑病とならんで最重要病害である炭疽病についても遺伝資源の評価を行い, 抵抗性の遺伝力が高いことを明



らかにした。本研究によりこれら両病害に対してアッサム種、導入中国種に抵抗性系統が多いことがわかったが、両病害抵抗性間には相関はなく（築瀬ら，1984）、煎茶品質とも相関は認められないので（烏屋尾ら，1976）、煎茶品質の優れた複合抵抗性品種の育種も可能である。実際の育種では、アッサム種、導入中国種の中には輪斑病、炭疽病ともに抵抗性の系統が多いのでこれらを有効に利用することが重要である。

これまで見てきたようにわが国のチャ遺伝資源は大きな変異を持ち、その保存点数も中国（CHEN *et al.*, 1997）、インド（BEZBARUAH *et al.*, 1977 b）を大きく上回る。また、収集の範囲も世界の主なチャの分布地を含んでおり、質、量ともに世界に類をみない内容である。しかしながら、チャの原産地と目される中国西南部周辺の材料が欠如しており、今後この方面からの導入が必要であるが、遺伝資源の多様性条約ができ、新規の遺伝資源の導入は国際的に非常に困難になってきた。このため遺伝資源の交換あるいは共同探索など国際協力を通して遺伝資源の充実と情報の収集を図っていくことが必要である。

本研究では、わが国チャ遺伝資源の持つ変異の多様性を明らかにするために外部形態として成葉、新葉、花器形態特性を取りあげ、変異の解析を行った。遺伝資源の利用の面からは、耐凍性、炭疽病と輪斑病抵抗性、タンニンとカフェイン含有率の変異について論議した。

また、形態および生理生態的側面だけではなく、遺伝的側面から見た多様性を明らかにするために、近年短期間のうちに重要病害になったチャの輪斑病を取り上げ、本病に対するチャの抵抗性の遺伝様式を解明し、多くのチャ遺伝資源の抵抗性に関する表現型と遺伝子型を明らかにした。これによりわが国チャ遺伝資源の本病に対する評価と遺伝的多様性が明らかになり、今後チャの遺伝資源の収集をはじめ効率的な輪斑病抵抗性育種に対する多くの情報が得られた。

また、これからの茶業の重要課題となる環境保全型茶業および機能性成分を中心とした成分育種では、ここで行ったわが国のチャ遺伝資源の評価を通してその可能性を明らかにした。

今後、遺伝資源研究にもDNAレベルでの研究が重要となる。特に、育種への利用を図るためにはDNAマーカーの開発は不可欠である。しかしながら、これらの研究が成果を上げるためには遺伝資源の正確な特性評価が必要であり、今後これらの研究が車の両輪となってチャの遺伝資源研究を進めていくことが重要である。

## 摘 要

野菜茶業研究所（枕崎）のチャ遺伝資源は耐寒性の弱いアッサム種（約 800 系統）や海外からの導入中国種（約 550 系統）をはじめ組織的に収集された日本在来種（約 1,500 系統）などが多数保存されており、わが国のチャ遺伝資源研究を行う上で最も良い条件を備えている。

そこで、本研究ではこれら遺伝資源について種々の形質を取り上げその変異の多様性と種内分類との関係を解明した。外部形態では、成葉の形質、新葉の毛茸分布特性、花器形態の変異を明らかにした。また、遺伝資源の利用の面から耐凍性、耐病性（炭疽病、輪斑病）および葉内化学成分（カフェイン、タンニン）などの特性評価を行い、チャの種内分類の指標としての有用性と育種素材としての可能性を検討した。

次に、遺伝的多様性の解明と有用特性の育種への利用を図るため、近年短期間のうちに重要病害となった *P. longisetata* 菌によって引き起こされる輪斑病を取り上げその抵抗性の遺伝様式を解明し、抵抗性に関する遺伝資源の表現型と遺伝子型を明らかにして本病に対する抵抗性育種の理論的裏付けを行った。

1. 成葉の形態では、大葉種のアッサム種（var. *assamica*）と小葉種の中国種（var. *sinensis*）は葉長では 8 cm、葉幅では 4 cm 前後で分類された。成葉の葉色は中国種のほうがアッサム種に比べて明るく、彩度が高かった。この 2 つの成分でアッサム種のグループと中国種のグループは明瞭に分類された。

2. 新葉の毛茸分布特性では、毛茸の長さ、密度、分布の仕方によって 23 の分類型を作成し、アッサム種、中国種のチャ遺伝資源 2,446 系統を 21 の分類型に分類した。アッサム種は大きな変異が認められたが、中国種では変異が小さく、特に日本の在来種は 97.7% の系統が分類型 IV-9（毛茸が長い、密度が高い、全面に分布）に属し、ほとんど変異が認められなかった。中国本土の中国種は日本の在来種よりもやや変異が大きかった。インド・ダージリンの小葉種（Cd 系統）は中国種の中では変異が大きくアッサム種の影響を受けていた。

3. 花器形態の 6 形質（花の大きさ、雌ずいの抽出度、花柱分岐数、花柱分岐点の位置、花柱のくびれの有無、子房の毛の有無）について主成分分析およびクラスター分析を行い、アッサム種、中国種およびアッサム雑種などのグループに分けることができた。この分類で特に有効であった形質は、花柱のくびれと雌ずいの抽出度および花柱分岐

点の位置であった。このためこの3形質を組み合わせて27の分類型を作成し、緑茶用の48品種を12の分類型に分類した。この分類型により‘ろくろう’と‘こやし、‘かなやみどり’と‘NN12’および‘べにほまれ’と‘金Cd5’の3組の類似品種が識別可能となった。

4. 紅花チャの紅色花色は劣性遺伝子( $r$ )によって支配されており、 $r$ 遺伝子の単純劣性ホモである $r/r$ の遺伝子構成で紅色の花色となり、 $r/+$ あるいは $+/+$ の場合に白色の花になった。また、 $r$ 遺伝子の多面的発現により、紅色花色の個体はすべて根も紅色になっていた。このため、幼苗期に根の赤いものを選抜すれば確実に紅花個体を選抜でき、早期選抜が可能になった。

5. 耐凍性の評価を「植物遺伝資源特性調査マニュアル(5)」に従って評価し、階級値2(極弱)から8(極強)の7段階に分類した。アッサム種では階級値3~4(弱~やや弱)、中国種では階級値6~7(やや強~強)に最も多く分布し、耐凍性はアッサム種と中国種の変種間で2~3ポイントの大きな差が認められた。

6. 葉内化学成分のカフェインとタンニン含有率の変異では、カフェインは1.64~5.46%の変異を示し、タンニンでは9.37~26.82%の変異が認められた。アッサム種は中国種に比べて両成分ともに高く、その境界はカフェインで3.5~4.0%、タンニンで18~20%であった。また、中国種の中ではカフェイン、タンニンの両成分とも日本在来種が中国導入種よりも低く、インド、バングラディシュ、ミャンマーのアッサム種から中国本土の中国種そして日本在来種へと低くなる傾斜が認められた。

7. チャの炭疽病抵抗性の遺伝力はかなり高く、広義の遺伝力は0.73~0.86と推定された。チャ遺伝資源の炭疽病抵抗性は、アッサム種、導入中国種はほとんどが抵抗性7(強)を示したが、日本の在来種は抵抗性7(強)が53.4%、抵抗性6(やや強)が18.2%、抵抗性5(中)が17.0%、抵抗性4(やや弱)が6.0%、抵抗性3(弱)が5.5%で極めて変異が大きかった。日本在来種の抵抗性を収集地域別にみると、近畿地方の材料の変異が大きく、この地域では抵抗性5(中)の比率が最も高かった。これに対して、南九州(鹿児島県、宮崎県)の材料は抵抗性7(強)の比率が高く、約85%を占めた。これは南九州はチャの生育期間が長く、気温が高くて雨量が多いことから炭疽病の発生に好適な環境にあるため、在来種の長い栽培の過程で炭疽病に弱いものが淘汰された可能性が考えられた。

8. *P. longiseta* 菌によって起こる輪斑病に対する抵抗

性評価のために効率的な輪斑病菌分生子の人為接種検定法を検討した。接種源となる分生子の濃度は $10^6$ 個/ml程度でよく発病し、高度抵抗性、中度抵抗性、罹病性の品種間差異を検定できた。人為接種検定を行う時期は梅雨明け後の7月から8月中旬がよく、それ以前では低温と梅雨時の降雨の影響、9月以降は気温の低下が大きな阻害要因となった。人為接種後の降雨が発病に及ぼす直接的な影響は大体接種後5時間程度までであった。接種後の病斑の大きさによる抵抗性の判定は、接種後14~17日が適当であった。

9. *P. longiseta* 菌によって起こる輪斑病に対する抵抗性は、抵抗性の異なる2つの独立した優性遺伝子 $Pl_1$ (高度抵抗性遺伝子)と $Pl_2$ (中度抵抗性遺伝子)によって支配されており、 $Pl_1$ は $Pl_2$ に対して上位の関係にあることが解明された。

10. チャの輪斑病抵抗性に関する遺伝子型はアッサム種と中国種では大きな違いが認められた。中国種の中でも中国からの導入種と日本の在来種では各遺伝子型の頻度に違いが認められた。中国導入種は表現型では高度抵抗性が98%以上を占め、アッサム種と明瞭な差異はなかったが、遺伝子型では高度抵抗性遺伝子 $Pl_1$ をホモに持つ系統の割合はアッサム種が72%であったのに対し、中国導入種は51%と低く、また、中国導入種では7種の遺伝子型すべてに対応する系統が認められるなど遺伝子型ではアッサム種よりもはるかに大きな変異が認められた。中国種の中では日本在来種の遺伝子型の多型が顕著であり、導入中国種よりもさらに大きな変異が認められた。日本在来種の場合、83%の高度抵抗性系統は高度抵抗性遺伝子を1つ持つことによって高度抵抗性になっていた。また、中国種に分類しているインドのダージリン原産のCd系統は、遺伝子型の変異が小さく、アッサム種に近い遺伝子型を示した。

高度抵抗性遺伝子 $Pl_1$ の出現頻度はアッサム種で高く日本在来種で最も低く、中国本土の材料はその中間にあったことから、地理的な形質傾斜が認められた。

11. 高度抵抗性遺伝子 $Pl_1$ をホモに持つ系統について遺伝子型の解析を行い、‘べにひかり、三叉枝蘭、PKS292’が $Pl_1Pl_1Pl_2Pl_2$ の遺伝子型、‘Ace37’が $Pl_1Pl_1Pl_2pl_2$ 、‘Abo27、IRN17’、‘IND75’が $Pl_1Pl_1pl_2pl_2$ の遺伝子型であることを明らかにした。これにより高度抵抗性遺伝子 $Pl_1$ と中度抵抗性遺伝子 $Pl_2$ によって構成されるチャの輪斑病抵抗性の遺伝子型の9種類全部が確認され、それに対応する品種が明らかになった。

12. わが国の主要な88の品種および系統について遺伝

子型とそれに対応する表現型を明らかにした。輪斑病に対して高度抵抗性品種の多くは海外導入種が関与している割合が高く、これら海外遺伝資源が輪斑病抵抗性育種に大きな役割を果たしていた。煎茶用の品種では罹病性の品種割合が高かったが、これは罹病性品種の‘やぶきた’を交配母本として多用してきた育種結果と思われた。

チャ輪斑病抵抗性に関する表現型と遺伝子型により、‘めいりょく、ゆたかみどり’および‘しゅんめい’の来歴に疑問がもたれた。類似品種の識別では、‘ひめみどり’と‘S 6’、‘かなやみどり’と‘NN12’は遺伝子型に違いが認められ識別可能であったが‘ろくろう’と‘こやし’は表現型および遺伝子型が全く同一であり識別できなかった。

13. 本研究ではわが国チャ遺伝資源の多様性とその育種

への利用について野菜茶業研究所（枕崎）のチャ遺伝資源を対象に遺伝資源の各種形質の変異を明らかにし、分類学的な側面と利用の面から論議した。対象とした野菜茶業研究所（枕崎）の遺伝資源は昭和初期にインドから導入したアッサム種をはじめ中国およびその他の国々から導入した多くの海外遺伝資源を含んでいる。また、戦後組織的に行った日本在来種の収集や紅茶の指定試験地時代に育成した多くのアッサム種と中国種の変種間雑種などもあり世界に類を見ない多様なチャの遺伝資源を形成している。従ってここで行ったチャ遺伝資源の変異とその多様性に関する成果はわが国のチャ遺伝資源にそのまま適用できるものと思われる。

附表1 試験に供試した主なチャ遺伝資源の来歴

| 収集群名                          | 原産国       | 導入年      | 備考                               |
|-------------------------------|-----------|----------|----------------------------------|
| アッサム種 (var. <i>assamica</i> ) |           |          |                                  |
| Ai                            | インド       | 1929     | アッサム雑種に近い                        |
| Ak                            | インド       | 1931     | ダージリン                            |
| IND                           | インド       | 1965     | 南インド (Upasi, Devashora, Coonoor) |
| PKS                           | バングラディッシュ | 1965     | Sylhet                           |
| Shan                          | ベトナム      | 1961     | ハノイ郊外                            |
| BUM                           | ミャンマー     | 1954     | インド Tocklai 茶試との種子交換             |
|                               |           | 1963     | カチン州 (名古屋大学志村教授)                 |
| SRL                           | スリランカ     | 1962, 63 | Kandy ('62), 高地茶園 ('63)          |
| Boh                           | マレーシア     | 1955, 56 | クアラルンプール Boh 農園                  |
| Aj                            | インドネシア    | 1934     | バンドン                             |
| 台湾ヤマチャ 2                      | 台湾        | 1969, 78 | 台湾茶業改良場 ('69), 高雄県 ('78)         |
| 中国種 (var. <i>sinensis</i> )   |           |          |                                  |
| Cd                            | インド       | 1954, 68 | ダージリン                            |
| Cp                            | 中国        | 1937     | 浙江省                              |
| Cm                            | 中国        | 1937     | 江西省                              |
| Cn                            | 中国        | 1937     | 江西省                              |
| Ck                            | 中国        | 1937     | 安徽省                              |
| Ca                            | 中国        | 1933     | 湖南省                              |
| Cy                            | 中国        | 1933     | 湖北省                              |
| Ch                            | 中国        | 1900     | 湖北省, 1900年に導入した後代                |
| Kor                           | 韓国        | 1972, 73 | 全晋南成 ('72) 慶尚南道 ('73)            |
| 在来種                           | 日本        | 1964~89  | 23府県                             |
| ヤマチャ                          | 日本        | 1962~67  | 6県                               |
| その他                           |           |          |                                  |
| IRN                           | イラン       | 1973     | デバーシャル                           |
| 変種間雑種                         | 日本        |          | 人為交雑育成種                          |

附表2 日本在来種およびヤマチャの収集年と収集番号

| 収集県名 | 収集年          | 収集地点数 | 収集番号                                                  |
|------|--------------|-------|-------------------------------------------------------|
| ヤマチャ |              |       |                                                       |
| 高知   | 1962         | 5     | 2769 2770 2771 2772 2773                              |
| 福岡   | 1965, 67     | 8     | 3001 3002 3003 3009 3011 3018 3020 3023               |
| 長崎   | 1967         | 1     | 平戸ヤマチャ                                                |
| 大分   | 1964, 65     | 5     | 2952 2953 2955 2957 2958                              |
| 熊本   | 1963         | 8     | 2823 2824 2826 2829 2830 2831 2832 2835               |
| 宮崎   | 1967         | 5     | 2763 2765 2766 2845 2848                              |
| 鹿児島  | 1968         | 1     | 鹿児島ヤマチャ                                               |
| 在来種  |              |       |                                                       |
| 秋田   | 1964         | 1     | 1                                                     |
| 新潟   | 1963         | 2     | 2 116                                                 |
| 福井   | 1964         | 3     | 73 92 93                                              |
| 埼玉   | 1964         | 6     | 8 9 10 11 12 13                                       |
| 茨城   | 1964         | 3     | 3 91 102                                              |
| 静岡   | 1964, 65     | 5     | 15 17 18 20 96                                        |
| 三重   | 1964         | 6     | 65 66 67 68 69 70                                     |
| 和歌山  | 1964         | 1     | 89                                                    |
| 滋賀   | 1964         | 5     | 30 31 32 33 88                                        |
| 奈良   | 1964, 69     | 4     | 58 126 127 128                                        |
| 京都   | 1964, 83     | 14    | 80 81 82 83 84 86 87 145 146 147 148 149 150 151      |
| 兵庫   | 1965         | 5     | 109 111 112 113 114                                   |
| 岡山   | 1964         | 1     | 72                                                    |
| 島根   | 1964, 89     | 2     | 29 62                                                 |
| 広島   | 1964         | 1     | 27                                                    |
| 高知   | 1964, 70, 87 | 7     | 97 99 100 101 135 136 137                             |
| 愛媛   | 1964         | 3     | 34 35 36                                              |
| 徳島   | 1969         | 3     | 132 133 134                                           |
| 福岡   | 1964, 69     | 6     | 37 38 39 129 130 131                                  |
| 佐賀   | 1965         | 6     | 120 121 122 123 124 125                               |
| 長崎   | 1965         | 2     | 117 118                                               |
| 熊本   | 1964         | 1     | 53                                                    |
| 宮崎   | 1964, 83, 85 | 14    | 44 59 138 139 140 141 142 143 144 165 166 167 168 169 |
| 鹿児島  | 1964, 65, 84 | 8     | 74 75 77 78 106 157 158 162                           |

## 引用文献

- 1) 足立東平 (1949) : チャの花のメシベの形態. 茶技研, 2, 10-13.
- 2) 安藤康雄・浜屋悦次・鈴木英生 (1985 a) : チャ輪斑病に対する感受性の品種間差異. 茶技研, 67, 21-27.
- 3) 安藤康雄・浜屋悦次・鬼木正臣 (1985 b) : チャ輪斑病 (*Pestalotia longiseta*) 接種枝における菌の交代. 日植病報, 51, 576-581.
- 4) 安藤康雄・成澤信吉 (1989 a) : チャの新梢枯死症状の赤葉枯病菌 *Glomerella cingulata* による発生抑制. 日植病報, 55, 261-266.
- 5) 安藤康雄・成澤信吉 (1989 b) : チャ葉でのチャ輪斑病の発生に及ぼすチャ赤葉枯病菌の影響. 日植病報, 55, 267-274.
- 6) 安藤康雄 (1993) : *Pestalotiopsis longiseta* によるチャ輪斑病の生理・生態的研究. 野菜茶試研報B, 6, 21-64.
- 7) 安間 舜・松下繁・鳥屋尾忠之・家弓実行 (1970) : 紅茶用新登録品種「へにひかり」. 茶技研, 39, 1-9.
- 8) AMMA, S. (1986) : Identification of tea clones (*Camellia sinensis* (L.) O. KUNTZE) by pubescence on the under surface of young leaves. Development of New Technology for Identification and Classification of Tree and Ornamentals, pp.19-24. Fruit Tree Research Station, Ibaraki.
- 9) BARUA, D. N. (1989) : Science and practice in tea culture. pp.22-52. Tea Research Association, Calcutta.
- 10) BEZBARUAH, H. P. and L. R. SAIKIA (1977) : Variations in self- and crosscompatibility in tea (*Camellia sinensis* L.) - a summary of forty years' pollination results at Tocklai -. *Two and a Bud*, 24, 21-26.
- 11) BEZBARUAH, H. P. and A. C. DUTT (1977) : Tea germplasm collection at Tocklai Experimental Station. *Two and a Bud*, 24, 22-30.
- 12) 関 天禄 (1998) : 山茶属山茶組植物的分類, 分化和分布. 雲南植物研究, 20, 127-148.
- 13) 陳 椽・陳 震古 (1979) : 中国雲南是茶樹原産地. 中国農業科学, 1, 91-96.
- 14) 張 宏達 (1981) : 山茶属植物的系統研究. 中山大学学報 (自然科学), 1, 1-180.
- 15) CHEN L., F. YU, N. XU, S. CHEN, Z. ZHANG, Y. YU, M. LI, H. WANG, P. WANG and M. XU (1997) : Collection and preservation of tea germplasm resources. Tea Science Research Proceedings (1991-1995), pp.157-160. Shanghai Scientific and Technical Publishers, Shanghai.
- 16) 江塚昭典・安藤康雄 (1994) : チャの病害. pp.182-243. 日本植物防疫協会, 東京.
- 17) FALCONER, D. S. (1960) : Introduction to quantitative genetics. pp.150-185. Oliver & Boyd Ltd, London.
- 18) FAIL G. L. and J. H. LANGENHEIM (1990) : Infection processes of *Pestalotia subcuticularis* on leaves of *Hymen courbaril*. *Phytopathology*, 80, 1259-1265.
- 19) 淵之上康元 (1986) : 茶の品種. pp. 5-53. 静岡県茶業会議所, 静岡.
- 20) 淵之上康元 (1975) : サザンチャの育成について. 埼玉県茶試研報, 5, 1-51.
- 21) 福田徳治・浜屋悦次 (1983) : 葉位によるチャ輪斑病の発病の違い. 日植病報, 49, 124-125.
- 22) 福與眞弓・原 征彦・村松敬一郎 (1986) : 茶葉カテキン  
の構成成分である (-) エピガロカテキンガレートの血中コレステロール低下作用. 日本栄養・食糧誌, 39, 495-500.
- 23) 古野鶴吉 (1996) : チャ遺伝資源の輪斑病抵抗性の特性評価. 茶研報, 83, 41-46.
- 24) 古野鶴吉・上野貞一・平川今夫・間曾龍一・田原 誠・向井 康・阿部二生 (1997) : 煎茶用品種「みみさやか」の育成. 宮崎県総農試研報, 31, 40-50.
- 25) 呉 覚農 (1987) : 呉覚農選集. 中国茶業学会編, pp.376-389. 上海技術出版社, 上海.
- 26) 呉 振鐸 (1962) : 茶樹部花形態の研究. 中華農学会報, 新44期, 34-52.
- 27) 呉 振鐸 (1964) : 茶樹新梢茸毛之形態変異及其遺伝的研究. 平鎮茶業試験所報告, 20, 1-23.
- 28) 呉 振鐸・徐 英祥 (1966) : 茶樹雑種優勢之利用的研究. 平鎮茶業試験所報告, 32, 1-17.
- 29) 萩屋 薫 (1968) : ユキツバキの話. 新潟の自然, 1, 105-112.
- 30) 浜屋悦次・堀川知廣 (1982) : *Pestalotia longiseta* SPEGAZZINI によるチャ輪斑病. 茶技研, 62, 21-27.
- 31) 浜屋悦次 (1982) : チャ炭そ病菌の感染経路. 茶技研, 63, 33-37.
- 32) 浜屋悦次・刑部 勝 (1983) : 最近話題のチャ病害虫. 植物防疫, 37, 461-466.
- 33) 原 征彦・松崎敏・中村耕三 (1989 a) : 茶カテキンの抗腫瘍作用. 日本栄養・食糧誌, 42, 39-45.
- 34) 原 征彦・渡辺真由美・坂口玄二 (1989 b) : 茶飲料に接種されたA型, B型ボツリヌス菌芽胞の動向. 日食工業誌, 36, 375-379.
- 35) 原 征彦・外岡史子 (1990) : 茶カテキンのラット血圧上昇に及ぼす抑制効果. 日本栄養・食糧誌, 43, 345-348.
- 36) HARTL, D. L. and T. MARUYAMA (1968) : Phenogram enumeration; The number of regular genotype-phenotype correspondences in genetic systems. *Journal of Theoretical Biology*, 20, 129-163.
- 37) 橋本 章 (1998) : トップジンMの耐性菌対策とFRACの活動. 農業時代, 177, 52-58.
- 38) 橋本 実 (1970) : 茶樹の起源に関する形態的研究 (2) 台湾のチャについて. 熱帯農業, 14, 8-11.
- 39) 橋本 実・志村 喬 (1978) : 茶樹の起源に関する形態学的研究 (5) クラスタ分析による1元説の提唱. 熱帯農業, 21, 93-101.
- 40) 橋本 実・小川英樹 (1980) : ヤマチャの起源と伝播に関する研究, 第1報クラスタ分析による渡来説の提唱. 地方茶研究, 4, 13-16.
- 41) HASHIMOTO, M (1985) : The origin of the tea *Camellia sinensis* plant. *JARQ*, 19, 40-43.
- 42) 日野隆之 (1962) : カキ葉枯病の病原菌. 植物防疫, 16, 287-288.
- 43) 堀川知廣 (1982) : チャ輪斑病 (*Pestalotia longiseta*) の分生孢子発芽初期の最適温度条件について. 茶研報, 55, 113-114.
- 44) 堀川知廣 (1984 a) : チャ輪斑病の有効な防除薬剤と散布時期. 茶研報, 56, 45-56.
- 45) 堀川知廣 (1984 b) : 最近多発しているチャ輪斑病の発生生態と防除. 植物防疫, 38, 275-279.
- 46) 堀川知廣 (1985) : チャ輪斑病防除における薬剤散布方法と防除効果. 茶研報, 62, 52-54.
- 47) 堀川知廣 (1986 a) : チャ輪斑病による減収. 静岡県茶試研報, 12, 1-8.
- 48) 堀川知廣 (1986 b) : チャ輪斑病菌 *Pestalotia longiseta*

- SPEGAZZINI のベンズイミダゾール系殺菌剤に対する耐性の発生. 静岡県茶試研報, 12, 9-14.
- 49) 堀川知廣 (1986 c): *Pestalotia longiseta* SPEGAZZINI による茶新梢枯死症の発生とその感染時期および感染部位. 日植病報, 52, 766-771.
- 50) 堀川知廣 (1987 a): *Pestalotia longiseta* SPEGAZZINI の各種植物に対する病原性. 茶研報, 65, 38-45.
- 51) 堀川知廣 (1987 b): チャ輪斑病及び新梢枯死症の発生におよぼす輪斑病菌 (*Pestalotia longiseta* SPEGAZZINI) 感染時の降雨の影響. 静岡県茶試研報, 13, 49-54.
- 52) 堀川知廣 (1987 c): ベンズイミダゾール系殺菌剤に対する耐性の程度を異にする茶輪斑病菌 *Pestalotia longiseta* SPEGAZZINI の病原力の差. 関西病害虫研報, 29, 21-26.
- 53) 堀川知廣 (1987 d): チャ輪斑病 *Pestalotia longiseta* SPEGAZZINI 接種茶園における輪紋状病斑形成率, 病斑上から分離される菌の種類, および病斑の大きさの品種間差異. 茶研報, 65, 46-54.
- 54) 堀川知廣 (1989): チャ輪斑病 (*Pestalotia longiseta* SPEGAZZINI) のチャ葉における感染部位. 日植病報, 56, 126.
- 55) 堀川知廣 (1990): 輪斑病菌の感染機構-輪斑病菌は傷口があれば感染出来るか?. 茶, 43, 24-31.
- 56) HUNG, J., Y. WANG and J. ZHANG (1993): Study on decaffeine instant tea. *Journal of Tea Science* (China), 12, 153-156.
- 57) HYOUNG-KOOG, C. (2000): Tea breeding and cultivation in Korea. *Journal of Korean Tea Society*, 6, 121-137.
- 58) 五十嵐仁・萩屋 薫 (1990): ユキツバキとヤブツバキの枝の柔軟性に関する比較研究. 西武舞鶴植物研究所報告, 5, 24-29.
- 59) 五十嵐喜治・佐藤充克・寺原典彦・津田孝範・津志田藤二郎・梶本修身 (2000): アントシアニンの生体調節機能. 「アントシアニン-食品の色と健康-」, 大庭理一郎・五十嵐喜治・津久井重紀編, pp.103-186. 建帛社, 東京.
- 60) 池田奈実子・八戸三千男・近藤貞昭 (1986): チャ輪斑病抵抗性の系統間差と検定法について. 日作九州支部報, 53, 99-103.
- 61) 池田奈実子・根角厚司 (1998): 韓国から導入したチャ遺伝資源の形態的特性. 育種, 48 (別2), 346.
- 62) 池田奈実子・根角厚司 (1999 a): 葉緑素計による遺伝資源の葉色の評価. 日作東海支部報, 128, 29-32.
- 63) 池田奈実子・根角厚司 (1999 b): 韓国チャ遺伝資源の毛茸特性. 茶研報告, 88 (別), 10-11.
- 64) 池ヶ谷賢次郎・高柳博次・阿南豊正 (1992): 茶の公定分析法. 茶研報告, 71, 43-74.
- 65) 伊藤陽子・成澤信吉 (1988): チャ輪斑病菌の分生孢子形成におよぼす各種放線菌, 糸状菌の影響. 茶研報, 67 (別), 58-59.
- 66) 岩浅 潔・太田勇男・鳥井秀一 (1970): 茶の公定分析法の改良 (第3報). 茶技研, 40, 69-73.
- 67) JAIN, A. K., K. SHIMOI, Y. NAKAMURA, T. KADA, Y. HARA, I. TOMITA (1989): Crude tea extracts decrease the mutagenic activity of N-methyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidine in vitro and in intragastric tract of rats. *Mutation Research*, 210, 1-8.
- 68) KADA, T., K. KANEKO, S. MATSUZAKI, T. MATSUZAKI and Y. HARA (1985): Detection and chemical identification of natural bio-antimutagens. A case of the green tea factor. *Mutation Research*, 150, 127-132.
- 69) 何 信鳳・王 両全 (1984): 台湾野生茶樹之蒐集. 台湾茶業研究彙報, 3, 133-155.
- 70) KATO, M. and T. SHIMURA (1978): Cytogenetical studies on *Camellia* species III. An interspecific hybrids between *Camellia japonica* L. and *C. sinensis* (L.) O. KUNTZE. *Japanese Journal of Breeding*, 28, 147-150.
- 71) 川崎正一 (1917): 北陸茶業視察所感. 茶業界, 22, 20-22.
- 72) 清沢茂久 (1974): イネいもち病抵抗性の遺伝・育種学的研究. 農技研研究資料 D (生理遺伝), 1, 1-58.
- 73) 木伏秀夫・江塚昭典・笠井久三 (1974): チャに寄生する2種の *Pestalotia* 属菌. 茶研報, 41, 37-43.
- 74) 北村四郎 (1950): 茶とツバキ. 植物分類地理, 14, 56-63.
- 75) 小泊重洋 (1972): チャの病虫害とその防除 (2). 農及園, 47, 1569-1573.
- 76) 小泉 豊・高橋宇正・内田太山・米山 宏 (1993): 低カフェイン茶の開発に関する研究 (1) 熱湯浸せき機の開発と使用法の検討. 静岡県茶試研報, 17, 31-39.
- 77) 小島肇夫・三輪信夫, 森美智子 (1989): ウーロン茶の変異原抑制作用. 食品衛生誌, 30, 233-239.
- 78) 河野又四 (1965): チャ赤葉枯病に関する研究. 特に外観健全なチャ樹新梢における病原菌の潜在性について. 近畿大学食品化学研究特別報告, 1, 1-66.
- 79) 久保田泰則 (1968): トドマツの地域性について (II) 寒さの害に対する変異. 79 回林学会講演集, 163-164.
- 80) LU, C., W. LIU and M. LI (1992): Relationship between the evolutionary relatives and the variation of esterase isozymes in tea plants. *Journal of Tea Science* (China), 12, 15-20.
- 81) 町田 裕・小崎 格 (1976): ニホンナシ育種における果実品種の数量的研究 (第2報). 園雑誌, 44, 325-329.
- 82) 前田有美恵・山本政利・増井俊夫 (1989): 茶抽出液の肥満細胞ヒスタミン遊離抑制活性. 食品衛生誌, 30, 295-299.
- 83) MAEDA-YAMAMOTO, M., H. KAWAHARA, N. MATSUDA, K. NESUMI, M. SANO, K. TSUJI, Y. KAWAKAMI and T. KAWAKAMI (1998): Effects of tea infusions of various varieties or different manufacturing types on inhibition of mouse mast cell activation. *Boisience, Biotechnology and Biochemistry*, 62, 2277-2279.
- 84) MATSUMOTO, S., A. TAKEUCHI, M. HAYATSU and S. KONDO (1994): Molecular cloning of phenylalanine ammonalylase cDNA and classification of varieties and cultivars of tea plants (*Camellia sinensis*) using the tea PAL cDNA probe. *Theoretical Applied Genetics*, 89, 671-675.
- 85) 松元 哲・竹内敦子 (1996): チャ中国種のフェニルアラニンアンモニアリアーゼ (PAL) cDNA を用いた RFLP 解析. 茶研報, 84 (別), 42-43.
- 86) 松元 哲・竹内敦子・山口 聰 (1997): RFLP 解析による韓国のチャの分類とその評価. 茶研報, 85 (別), 20-21.
- 87) 松元 哲・竹内敦子・山口聰・朴竜求 (1998): 韓国のチャの RFLP 解析. 茶研報, 87 (別), 38-39.
- 88) 松元 哲・切岩祥和・武田善行 (1999): チャ在来種の遺伝的多様性について. 茶研報, 88 (別), 12-13.
- 89) 松尾孝嶺 (1967): 育種学. pp.13-15. 養賢堂, 東京.
- 90) 松下 智 (1999): アッサム紅茶文化史. pp.25-29, pp.166-183. 雄山閣出版, 東京.
- 91) 松崎妙子・原 征彦 (1985): 茶葉カテキン類の抗酸化作用について. 日農化誌, 59, 129-134.
- 92) MORNHINWEG, D. H., D. R. PORTER and J. A. WEBSTER

- (1995): Inheritance of Russian wheat aphid resistance in spring barley. *Crop Science*, **35**, 1368–1371.
- 93) 村松敬一郎 (1991): カフェインの生理作用。「茶の科学」, 村松敬一郎編, pp.183–191. 朝倉書店, 東京.
- 94) 武藤 惇・堀内孝雄 (1974): 杉種子産地と寒害抵抗性. 日林誌, **56**, 210–215.
- 95) 都城市史編さん委員会 (1990): 都城市史別編. pp.243–244.
- 96) 森田明雄・岩本浩志 (1996): 韓国全羅南道を中心とした茶業の現状. 静岡県茶試研報, **20**, 63–70.
- 97) 永田忠博 (1986): ツバキ属植物における葉中の茶有用成分に関する研究. 茶試研報, **21**, 61–120.
- 98) 永田利美 (1954): 茶樹タンソ病に関する研究. 東近農試研報 (茶), **2**, 97–131.
- 99) NAGATO, K. and K. OSONE (1982): Variation of esterase isozymes in tea plant. *Japanese Journal of Breeding*, **32**, 15–161.
- 100) 中林敏郎 (1991): 茶葉の化学成分。「緑茶・紅茶・烏龍茶の化学と機能」, 中林敏郎・伊奈和夫・坂田完三編, pp.20–31. 弘学出版, 神奈川.
- 101) 中川致之 (1970 a): チャの品質とカテキンに関する研究. 茶試研報, **6**, 65–166.
- 102) 中川致之 (1970 b): 茶のカテキン. 茶研報資料, **2**, 81–101.
- 103) NAMIKI, M., and T. OSAWA (1986): Antioxidants/anti-mutagens in foods. *Basic Life Science*, **39**, 131–142.
- 104) 成澤信吉 (1986): 無病徴チャ葉からの *Pestalotia* 属菌の検出. 茶研報, **67**, 56–57.
- 105) 成澤信吉 (1988 a): チャ輪斑病菌の生態について. 茶, **41** (2), 34–37.
- 106) 成澤信吉 (1988 b): チャ輪斑病菌の生態について. 茶, **41** (3), 10–13.
- 107) 根角厚司・武田善行 (1996): タンニン及びカフェイン高含有系統「IND113」について. 茶研報, **84** (別), 32–33.
- 108) 根角厚司・武田善行 (1998): タンニン・カフェイン高含有系統及び花香保有特性系統「MAKURA 1号」の育成. 育種, **48** (別2), 172.
- 109) NEUMAN, R. J. and J. P. RICE (1992): Two-locus models of disease. *Genetic Epidemiology*, **9**, 347–365.
- 110) 日本茶業中央会 (1999): 平成 11 年版茶関係資料. pp.1–58, pp.78–87.
- 111) 農業生物資源研究所 (1992): 植物遺伝資源特性調査マニュアル (5). pp.667–673.
- 112) 農業生物資源研究所 (1999): 農林水産省ゲノムバンク事業植物遺伝資源部門実績報告書. pp.49–53.
- 113) 農林省茶業試験場 (1963): 茶樹の育種経過と技術的問題点. pp.1–93.
- 114) 農林水産技術情報協会 (1981): 茶種苗特性分類調査報告書. pp.52–53.
- 115) NOMURA, K. and S. KIYOSAWA (1992): Differences in hypersensitives reaction among rice cultivars carrying various resistance genes to the blast fungus, *Pyricularia oryzae*. *Japanese Journal of Breeding*, **42**, 213–225.
- 116) 荻安彦・植田和郎・土橋正宏 (1995): チャ宇治在来種の特性評価. 茶研報, **82** (別), 40–41.
- 117) OGUNI, I., K. NASU, S. YAMAMOTO and T. NOMURA (1988): On the antitumor activity of fresh green tea leaf. *Agricultural and Biological Chemistry*, **52**, 1879–1880.
- 118) 鬼木正臣・成澤信吉・安藤康雄 (1986): わが国の主用茶産地におけるベンズイミダゾール系殺菌剤耐性輪斑病菌の発生実態. 茶研報, **64**, 29–33.
- 119) 大井次三郎 (1965): 日本植物誌. pp.896–897. 至文堂, 東京.
- 120) 大石貞男 (1983): 日本茶業発達史. pp.57–87, pp.155–173, pp.262–264. 農村漁村文化協会, 東京.
- 121) 王 両全・何 信鳳・陳 右人・馮 鑑淮・丘 再堯 (1990): 台湾野生茶樹種原保存及利用 I. 台湾眉原山野生茶樹調査. 台湾茶業研究彙報, **9**, 1–6.
- 122) SAKANAKA, S., M. KIM, M. TANIGUCHI and T. YAMAMOTO (1989): Antibacterial substances in Japanese green tea extract against *Streptococcus* mutants, a cariogenic bacterium. *Agricultural and Biological Chemistry*, **53**, 2307–2311.
- 123) 讚井 元 (1953): 茶成葉の形態に関する研究 (第 1 報) 台湾在来種の成葉の外部形態について. 茶研報, **2**, 11–21.
- 124) 早乙女和彦・吉田ひさし・小林俊一 (1990): エステラーゼ同位酵素遺伝子型によるオオムギ縮萎病抵抗性系統の選抜. 栃木県農試研報, **37**, 1–9.
- 125) SEALY, J. R. (1958): A revision of the genus *Camellia*. pp.111–131. Springer-Verlag, Berlin & New York.
- 126) 静岡県茶業会議所 (1999): 茶多用途利用調査報告書. pp.4–66.
- 127) 莊 晚芳・唐 力新・孔 憲楽・王 加生 (松崎芳郎訳) (1986): 中国茶読本. pp.1–17. 静岡県茶業会議所, 静岡.
- 128) 庄 晚芳 (1992): 庄晚芳茶学論文選集. 浙江農業大学茶学系編, pp.270–275. 上海科学技術出版社, 上海.
- 129) 志村 喬 (1949): チャ樹品種の育種学的研究. 茶試研報, **2**, 1–111.
- 130) 志村 喬 (1968): 東南アジア諸国における嗜好作物の改良と技術交流の可能性に関する研究 (3) 茶. 熱帯農業, **11**, 60–84.
- 131) 高橋啓二 (1960): 植物分布と積雪. 森林立地, **8**, 19–24.
- 132) 高屋茂雄 (1978): 炭そ病のこと. 茶, **31** (1), 38–44.
- 133) 武田善行・鳥屋尾忠之 (1980): 花器形態による緑茶用品種の識別と分類. 茶研報, **52**, 1–6.
- 134) 武田善行 (1983): 化学成分によるチャ樹の分類. 九農研, **45**, 43.
- 135) 武田善行・築瀬好充・渡辺 明 (1987 a): チャ輪斑病抵抗性の遺伝解析. 育種, **37** (別1), 322–323.
- 136) 武田善行・築瀬好充・安間 舜 (1987 b): チャとヤブツバキの F<sub>1</sub> 雑種の育成とその特性について. 野菜茶試研報 (B), **1**, 11–21.
- 137) TAKEDA, Y. (1988): Genetic analysis of tea gray blight (*Pestalotia longiseta* SPEGAZZINI) resistance in tea plant. *Proceedings of the International Symposium on Recent Development in Tea Production* (In Taiwan), pp.205–212. Taiwan Tea Experiment Station, Yangmei.
- 138) 武田善行・成澤信吉・池田奈実子 (1988): 日本各地の茶園古葉から分離したチャ輪斑病の病斑形成能力. 茶研報, **68** (別), 14–15.
- 139) TAKEDA, Y. (1990): Cross compatibility of tea (*Camellia sinensis*) and its allied species in the genus *Camellia*. *JARQ*, **24**, 111–116.
- 140) 武田善行・根角厚司・池田奈実子・和田光正 (1991): ‘やぶきた’の $\gamma$ 線照射によって得られた耐病性系統について. 茶研報, **74** (別), 12–13.
- 141) 武田善行・和田光正・根角厚司 (1992): 成葉の葉色によるチャ遺伝資源の分類. 茶研報, **76** (別), 8–9.

- 142) 武田善行・和田光正・根角厚司・武弓利雄 (1993): 茶遺伝資源における新葉毛茸特性の変異. 茶研報, 78, 11-21.
- 143) TAKEDA, Y. (1994): Differences in caffeine and tannin contents between tea cultivars, and application to tea breeding. *JARQ*, 28, 117-123.
- 144) 武田善行・根角厚司 (1996 a): チャの紅色花色の遺伝分析. 茶研報, 84 (別), 40-41.
- 145) 武田善行・根角厚司・和田光正 (1996 b): チャの輪斑病抵抗性に関する遺伝子型推定による主要品種の分類. 日作九州支報, 62, 82-85.
- 146) 武田善行 (1997): チャ遺伝資源の輪斑病抵抗性に関する遺伝子型. 育雑, 47 (別2), 292.
- 147) 武田善行 (1998): チャ輪斑病高度抵抗性品種の遺伝子型の解析. 育雑誌, 48 (別2), 107.
- 148) 武田善行 (1999): *Pestalotiopsis longiseta* 菌に対するチャの輪斑病抵抗性遺伝子の地理的分布. 育種研究, 1 (別2), 186.
- 149) TAKEO, T., X. YOU, H. WANG, H. KINUKASA, M. LI, Q. CHEN and H. WANG (1992): One speculation on the origin and dispersion of tea plant in China. One speculation based on the chemotaxonomy by using the content-ratio of terpene-alcohols found in tea aroma composition. *Journal of Tea Science* (China), 12, 81-86.
- 150) 田中淳一・山口 聰 (1996): RAPD (Randomly amplified polymorphic DNA) によるチャ品種の親子関係の検定. 野菜茶試研報 B, 9, 31-36.
- 151) 田中淳一・太田さくら・山口信雄・武田善行 (1999): チャ品種'さやまかおり'×'おくゆたか'および'さやまかおり'×'さえみどり'の F<sub>1</sub> 分離集団を用いた輪斑病高度抵抗性遺伝子 *Pl* 座の'さやまかおり'連鎖地図上の位置の推定. 育種学研究, 1 (別2), 165.
- 152) 谷口熊之助 (1936): ヤマチャ調査報告. 茶業組合創立50周年記念論文集, 1, 87-101.
- 153) TERAHARA, N., Y. TAKEDA, A. NESUMI and T. HONDA (2001): Anthocyanins from red flower tea (Benibana-cha), *Camellia sinensis*. *Phytochemistry*, 56, 359-361.
- 154) 塘二郎 (1967): 茶種苗の収集・導入および保存の実態. 「永年性作物種苗の収集・導入および保存の実態」. 農林省農林水産技術会議編, pp.141-164. 農林省. 東京.
- 155) 鳥山国土・江塚昭典・浅賀宏一・横尾政雄 (1983): 戻し交雑後代のレース反応を利用したイネ品種のいもち病真性抵抗性遺伝子型の推定法. 育雑, 33, 448-456.
- 156) 鳥屋尾忠之 (1965): 茶樹の個体選抜の段階における諸形質の相関関係と遺伝分析 (第2報) 緑茶系統の収量と葉数ならびに成葉との相関関係. 茶技研, 30, 1-4.
- 157) 鳥屋尾忠之 (1970): はつもみじ後代にみられる不発酵個体の遺伝. 茶技研, 39, 10-13.
- 158) 鳥屋尾忠之・家弓實行 (1973): 茶樹における成葉の耐凍性の品種間差異とアッサム種の地域適応性. 茶技研, 45, 11-17.
- 159) 鳥屋尾忠之・家弓實行・勝尾 清・松下 繁 (1974): チャの耐凍性の品種間差異と早期検定. 茶試研報, 9, 1-72.
- 160) 鳥屋尾忠之・武田善行・松下 繁 (1976): チャ炭そ病抵抗性の品種間差異と遺伝力. 茶技研, 50, 1-8.
- 161) 鳥屋尾忠之・武田善行 (1978) チャ品種の花器形態による識別とその変異について, 日作九支報, 45, 67-70.
- 162) 鳥屋尾忠之 (1979): チャの白葉ならびにこうろ型形質の遺伝分析. 茶技研, 57, 1-8.
- 163) TOYAO, T. (1982): Inheritance of cold hardiness of tea plants in crosses between var. *sinensis* and var. *assamica*. Plant Cold Hardiness and Freezing Stress, 2, LI, P. H. and A. SAKAI ed., pp.591-603. Academic Press. London &, New York.
- 164) 鳥屋尾忠之・武田善行・家弓實行・松下 繁 (1988): チャならびに近縁種の耐凍性の変異と地理的分布. 野菜茶試研報 B, 2, 25-39.
- 165) 鳥屋尾忠之 (1988): チャの種および種内分類の基準について. 茶研報告, 67, 62.
- 166) 鳥屋尾忠之・武田善行・松下 繁・家弓實行・近藤 貞昭 (1996): チャの日本在来種における地理的変異と適応性. 野菜茶試研報 B, 9, 1-29.
- 167) 鳥屋尾忠之・武田善行 (1999): チャの花器形態の地理的変異と数値分類. 茶研報, 87, 39-57.
- 168) 津久井亜紀夫・林一也 (2000): アントシアニンの生体調節機能. 「アントシアニン-食品の色と健康-」, 大庭理一郎・五十嵐喜治・津久井亜紀夫編, pp.57-98. 建帛社, 東京.
- 169) 津志田藤二郎・村井敏信 (1985): 茶葉に存在するカフェインの熱湯による特異的溶出. 農化誌, 59: 917-919.
- 170) 津山 尚 (1956): 雪椿について. 自然科学と博物館, 23, 119-135.
- 171) ヴァヴィロフ, N. (中村英司訳) (1980): 栽培植物発祥地の研究. pp.19-191. 八坂書房, 東京.
- 172) WICKRAMARATNE, M. R. T. (1981): Variation in some leaf characteristics in tea (*Camellia sinensis* L.) and their use in the identification of clones. *Tea Quarterly*, 50, 183-198.
- 173) 八重樫博志・浅賀宏一・山田昌雄 (1983): 全国イネ奨励品種のいもち病真性抵抗性遺伝子型の推定. 東北農試研報, 68, 1-19.
- 174) 山口 聰・田中淳一・松元 哲 (1996): チャの起原と伝播について V. 雌しへの形態変異から見た日本在来チャの特徴. 育種学雑誌, 46 (別2), 284.
- 175) 築瀬好充・近藤貞昭・武田善行 (1984): チャ炭そ病と輪斑病の複合抵抗性の育種. 茶研報, 59, 58.
- 176) 築瀬好充・武田善行 (1987): チャの育種における輪斑病抵抗性の検定法. 野菜茶試研報 B, 1, 1-9.
- 177) YEN, G. and H. CHEN (1994): Comparison of antimutagenic effect of various tea extracts (green, oolong, pouchong, and black tea). *Journal of Food Protection*, 57, 54-58.



## Studies on Variations in Genetic Resources of Tea in Japan and Application to Tea Breeding

Yoshiyuki TAKEDA

### Summary

At the Makurazaki Station of the National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants and Tea (presently the National Institute of Vegetable and Tea Science), many valuable tea plants are preserved as genetic resources for tea breeding, which have been collected from many areas both in Japan and foreign countries since 1929. Makurazaki Station is a suitable place for the preservation of every variety of tea because it is located in a warm region without cold damage in winter. Therefore, the Assam variety (*Camellia sinensis* var. *assamica*) and Chinese variety (*C. sinensis* var. *sinensis*) can be safely preserved. Makurazaki Station harbors the largest gene bank of tea in the world, with 800 accessions of the Assam variety, 550 accessions of the Chinese variety introduced from China and 1,500 accessions of the Chinese variety collected in Japan. Therefore it is the most suitable place for studying the genetic resources of tea in the world.

In this study, some morphological and physiological characteristics were investigated both for the markers used for classifying the two varieties. The variations in morphological characters such as mature leaf, pubescence of young leaf and flower organs were described in Chapter II. The resistance to both cold and diseases (tea anthracnose and tea gray blight), and the chemical components in the tea leaf such as caffeine and tannin were analyzed in relation to the classification between the two varieties and for use as breeding materials of tea (Chapters III and IV). Genetic analysis of the resistance to tea gray blight caused by *Pestalotiopsis longiseta* was presented in Chapter V by testing progenies among many cross combinations. The phenotypes and genotypes identified in this study may contribute to breeding for resistance to the disease. Also methods of tea breeding for disease resistance may be developed based on the theory presented in this study.

1. Samples of the two varieties var. *assamica* and var. *sinensis* were taken when the leaf length was 8 cm and leaf width 4 cm. The color of the mature leaf of *C. sinensis* was lighter and brighter than that of var. *assamica*. The two varieties could be clearly differentiated by these two characters of leaf color.

2. Twenty-three patterns of pubescence on the young leaf were identified based on the length, density and distribution, and 2,446 plants of var. *assamica* and var. *sinensis* were classified into 21 patterns out of the 23. As a whole, the Assam tea variety belonging to var. *assamica* showed wider variations than the Chinese variety belonging to var. *sinensis*. Only six patterns were observed in

---

Received: December 15, 2001

Department of Tea

15451 Beppu, Makurazaki, Kagoshima, 898-0032 Japan

Japanese native plants (var. *sinensis*) and almost all the plants had long hairs with a high density distributed all over the surface of the leaf. The pubescence pattern of the tea plants from Darjeeling (Cd group) which were classified as var. *sinensis* based on the leaf size, leaf color, tree performance and cold resistance was clearly influenced by var. *assamica*.

3. Large variations were observed among the plants for six characters of the flower organ, namely, flower size (Character code No. 1), relative pistil height (relative height between androecium and gynoecium) (No. 4), level of style branching point (splitting point of the style) (No. 8), number of constricted styles (constriction of the splitting arms) (No. 9), hairiness of the ovary (No. 10) and number of stamens (No. 11). Plants belonging to the Assam variety, the Chinese variety and hybrids between the two were classified into several groups by principal component analysis (PCA) and cluster analysis using data of six flower characters. The characters most suitable for use as classification criteria were the number of constricted styles, relative pistil height and level of style branching point. Twenty-seven patterns were identified by the combination of these three characters, and 48 cultivars for green tea were classified into 12 patterns out of 27. In this method, three pairs of very similar cultivars such as 'Rokuro' and 'Koyanishi', 'Kanayamidori' and 'NN12', and 'Benihomare' and 'Kana Cd5' could be classified clearly.

4. 'Benibanacha', which has a red flower in addition to a white flower and belongs to *C. sinensis* var. *sinensis*, is an important genetic resource of tea for the breeding of cultivars with a high content of anthocyanins. The red color character of the flower is controlled by the recessive gene *r*. The genotype *r/r* corresponded to the red flower and *r/+* and *+/+* to the white flower. The red color of the flower was associated with a red root. It is assumed that this coupling of characters is due to the pleiotropy of gene *r*. Based on this concept, it was possible to select red flower tea at a very young stage of the seedling by observing the root color.

5. Cold hardiness in midwinter was evaluated on a scale of 2 (very weak) to 8 (very strong) using the artificial freezing test. In comparison with the Assam variety, the Chinese variety was resistant to cold in midwinter.

Hardiness scores of the Assam variety usually ranged from 3 to 4 (weak to slightly weak) and most of the Chinese varieties were distributed in the range from 6 to 7 (slightly strong to strong). The differences between the two varieties exceeded two or three scoring points. The hardiness score of the hybrids between var. *assamica* and var. *sinensis* showed intermediate values between the two varieties.

6. Wide varietal differences were observed both in the caffeine content and tannin content, ranging from 1.64 to 5.46 percent in caffeine and from 9.37 to 26.82 percent in tannin. The Assam variety (var. *assamica*) generally contained high levels of these two components compared with the Chinese variety (var. *sinensis*) and the two varieties could be differentiated at the level of 3.5 to 4.0 percent for caffeine and at 18 to 20 percent for tannin. In the Chinese variety, Japanese native plants showed lower contents of both tannin and caffeine components than the introduced Chinese plants. As a result, a decreasing cline was observed in the varieties from India, Bangladesh and Myanmar to mainland China and to Japan, for both tannin and caffeine contents.

7. The heritability values of the resistance to tea anthracnose ranged from 0.73 to 0.86 based on calculations by three methods: parent-progeny correlation, regression of progeny on mid-parent, and analysis of variance for biparental progenies. In two groups of tea, that is, the Assam plants of var. *assamica* and the introduced Chinese plants belonging to var. *sinensis*, almost all the tea plants showed a resistance to tea anthracnose. However, the Japanese native plants which belong to var. *sinensis* displayed very wide variations in the resistance to this disease, *i.e.*, strong (hardness score 7) accounting for 53.4 percent, slightly strong (6) accounting for 18.2 percent, medium (5) accounting for 17.0 percent, slightly weak (4) accounting for 6.0 percent and weak (3) accounting for 5.5 percent. There were some differences in the resistance to tea

anthracnose among the Japanese native plants. Though tea plants in the Kinki district were generally susceptible and showed wide variations in the resistance to the disease, 85 percent of the plants in Miyazaki and Kagoshima prefectures in southern Kyushu showed a high resistance with a score of 7 (strong). It is assumed that tea plants in southern Kyushu had been selected through cultivation under high temperature and heavy rainfall conditions which promote infection.

8. An effective artificial testing method for tea gray blight caused by *Pestalotiopsis longiseta* was examined for evaluating the resistance to this disease. The optimum number of conidia of *P. longiseta* was  $10^6$ /ml and the method enabled to detect differences among three levels of resistance based on the symptom of the disease, that is, high level of resistance, medium level of resistance and susceptibility. The optimum time for the artificial inoculation test was July after the rainy season to mid-August to avoid low temperature and rainfall before July, while after September, to avoid the decrease of temperature for inoculation. Rainfall influenced the results of the test 5 hours after inoculation. The optimum date of the evaluation was 14 to 17 days after inoculation.

9. Genetic analysis revealed that the resistance to tea gray blight caused by *P. longiseta* is controlled by two independent dominant resistance genes  $Pl_1$  and  $Pl_2$ . The gene  $Pl_1$  which confers a high level of resistance is genetically epistatic in relation to the  $Pl_2$  gene which confers a moderate level of resistance.

10. More than 98 percent of the introduced Chinese plants which belong to var. *sinensis* had a phenotype with a high level of resistance as in the case of the Assam variety. However, genotypes for the resistance to tea gray blight were markedly different between the Assam variety and the Chinese variety, and clear differences were also observed between the introduced Chinese plants and Japanese native plants in the Chinese variety.

It was shown that the genotypes of the Chinese variety displayed wider variations in the disease than those of the Assam variety and it was also observed that in the Chinese variety polymorphism of the genotypes in the Japanese native plants was wider than that of the introduced Chinese plants. The genotype of the Assam variety was very simple and 72 percent of the plants showed homozygosity for the  $Pl_1$  gene which confers a high level of resistance to tea gray blight. Though the phenotypes of the introduced Chinese plants were very similar to those of the Assam variety in the resistance to the disease, the genotypes of the introduced Chinese plants displayed wider variations than those of the Assam variety and seven genotypes were identified. In the Japanese native plants of the Chinese variety, 83 percent of the plants with a high level of resistance harbored only one  $Pl_1$  gene. The variations in the genotype of the Cd group which was collected in Darjeeling, India were as narrow as those of the Assam plants.

11. It was shown that in the cultivars with homozygosity of the  $Pl_1$  gene, the genotype of 'Benihikari', 'San-Cha-Tsi-Lan' and 'PKS 292' was  $Pl_1Pl_1Pl_2Pl_2$ , while that of 'Ace 37' was  $Pl_1Pl_1Pl_2pl_2$  and that of 'Abo 27, IRN 17' and 'IND 75' was  $Pl_1Pl_1pl_2pl_2$ . All of the nine genotypes with  $Pl_1$  which confers a high level of resistance and  $Pl_2$  which confers a medium level of resistance were detected in the tea plants preserved as genetic resources.

12. The phenotypes and genotypes in the resistance to tea gray blight of 88 major cultivars in Japan were identified in this study. The gene ( $Pl_1$ ) conferring a high level of resistance to the disease in the cultivars of Japan was mainly derived from plants introduced from foreign countries and contributed to the breeding for resistance to tea gray blight in Japan. The cultivars for 'Sencha', a kind of Japanese green tea, included a high rate of susceptible cultivars to the disease since the susceptible cultivar 'Yabukita' was used many times as breeding materials. It was doubted of the parents of three main breeding cultivars, that is, 'Meiryoku, Yutaka midori' and 'Shunmei' based on the phenotype and genotype determined by parent-offspring genetic analysis. The analysis enabled to discriminate 'Himemidori' from a similar cultivar 'S6' and 'Kanayamidori' from a

similar cultivar 'NN12' because of the difference in the genotypes. However, 'Rokuro' and 'Koyanishi' could not be discriminated because their genotype was identical.

13. In this study, the variations in some characters of the tea plants preserved at the Makurazaki Station, National Institute of Vegetable and Tea Science, were clarified, and various aspects related to the classification and use were examined. The genetic resources analyzed in this study included not only many valuable foreign tea plants introduced from India, China and other countries but also many Japanese native plants which were systematically collected in all the tea-producing districts of Japan and hybrids between the Assam variety and the Chinese variety grown at the Makurazaki Station in Kagoshima prefecture. These collections are unique in the world in terms of volume and quality.

In conclusion, the results obtained in this study in relation to the variations and genetic diversity can be fully applied to the genetic resources of tea in Japan.