

スギ針葉の冬季における色調の遺伝

菊池 秀夫⁽¹⁾

KIKUTI, Hideo : Inheritance of Winter Needle Color in Sugi, *Cryptomeria japonica* D. Don

要 旨：スギが示す針葉の色素変異のなかには、冬季における針葉色の色調の変異も含まれる。遺伝実験のために収集したスギ個体のなかから、冬季における針葉色が鮮明な緑色を呈するスギ（ミドリスギ）、黄土色になるスギ（黄土スギ）及び濃度の異なる赤色を帯びるスギ（アカスギ）を用いて交配 F_1 家系及び F_2 家系を育成し、それらの家系における表現型の分離を調べるとともに、一部の家系で針葉のロドキサシン含有量を調べた。その結果、①：冬季針葉色形質のアカ型は、ミドリ型及び黄土型に対して完全優性であった。ミドリ型と黄土型の形質間には優劣性の関係はみられず、ミドリスギと黄土スギの交配 F_1 家系苗はすべて黄褐色となった。②：ロドキサシンはミドリ型にはなく、黄土型には含有されていた。ミドリ型と黄土型の F_1 家系に生ずる黄褐色のロドキサシン含有量は黄土型よりも多く、この形質発現は超優性効果の現象と考えられた。アカ型苗にはさらに多くのロドキサシンが含まれていた。③：①②の結果から、アカ型、ミドリ型及び黄土型の針葉色を支配する遺伝子については同一の1遺伝子座を共有する複対立遺伝子群を成していると推定できた。アカ型には、色調の異なる苗が含まれており、ロドキサシン含有量にも差異が認められたことから、アカ型形質の発現だけに関しても、同じ遺伝子座を共有する複数の対立遺伝子の存在が想定された。④：産地の異なるミドリスギのミドリ遺伝子の対立性を検定した結果、宮城、栃木、東京、愛知及び鹿児島各都県産のミドリスギの発現形質は同じミドリ遺伝子に支配されていることが分かった。また、中国浙江省産のミドリ柳杉も同じミドリ遺伝子を保有していた。精英樹竹田署4号（アオスギ）、精英樹都城署1号（サツマメアサ）及び宮崎県椎葉村のチスギについては、同じミドリ遺伝子をヘテロ接合型で保有していることを再確認した。

目 次

1 はじめに	32
2 材料と方法	32
2.1 供試個体	32
2.2 色調及び個体の表示	33
2.3 交配組み合わせと色調の調査	33
2.4 ロドキサシンの定量	33
3 結果及び考察	37
3.1 親の交配	37
3.1.1 自家受粉	37
3.1.2 ミドリスギ遺伝子の対立性検定	37
3.1.3 異なる針葉色をもつ親スギの他家受粉	37
3.2 F_1 個体を用いた交配	45
3.2.1 F_1 個体の自家受粉	45
3.2.2 F_1 個体を用いた戻し交配	45

3.3 針葉の色調とロドキシサンチンの含有量	51
3.4 ミドリスギの地理的分布	51
3.5 冬季針葉色形質に関する遺伝子の表記	51
謝 辞	55
引用文献	55
Summary	56

1 はじめに

スギ (*Cryptomeria japonica* D. DON) は日本を代表する造林樹種の一つで、林木育種の重要な対象樹種である。スギの天然林は北は青森県から南は鹿児島県まで広い範囲に分布する (林, 1951)。中国には柳杉 (*C. fortunei* HOOIBREK ex OTTO et DIETR.) の自生地がある (中国植被編輯委員会, 1980)。この日本のスギと柳杉の針葉色は、夏季では個体間の識別が困難であるが、冬季では顕著に異なることが、苗畑などの実生苗やさし木苗で観察される。針葉色の違いは地域集団、在来さし木品種の特徴あるいは識別拠点の一つに挙げられており (林, 1923; 佐多, 1931; 山内, 1931; 相馬, 1936; 石崎, 1965)、冬季の針葉色の遺伝については千葉 (1953)、FUKUHARA (1963)、大庭ら (1972, 1974)、菊池ら (1986, 1991, 1992) の報告がある。スギ針葉色の色素成分の分析については肥田ら (1964)、織田ら (1986) の報告がある。

筆者は林木の諸形質の遺伝を研究するためにスギの表現形質に特徴をもった個体またはクローンの収集を行い、交配実験を行ってきた。本報では、スギの冬季の針葉色が緑色、黄土色及び赤色になるスギとの交配による F_1 家系、 F_2 家系を育成し、冬季の針葉色の分離を調べ、その遺伝様式及び針葉色を緑色にする遺伝子の地理的分布の検討を行うとともに、一部の家系について赤色系色素成分ロドキシサンチンの含有量と針葉色との関連を調べたので報告する。

2 材料と方法

2.1 供試個体

供試個体は全国各地の採取地及び苗畑などで、冬季の色調の観察によって選出したものである。その供試母樹と冬季における針葉の色調の表現型、産地及び由来などの概略を Table 1 に示した。

この実験における緑色のスギのテスタークローンには、各地域から集めた冬季の針葉が緑色であるスギのなかから、千葉 (1953) が仙台営林署綾子苗畑で選抜し、遺伝実験に供したミドリスギ4クローン (Cr-322, Cr-323, Cr-325, Cr-326) を用いた。このクローンの針葉色は冬季に鮮明な緑色を呈する。数種の在来さし木品種 (Cr-13, Cr-14, Cr-16) は九州では冬季の色調が緑色であるが、関東地方ではテスタークローンとは異なる淡黄緑色を呈する。柳杉の3個体 (79-82-2, 3, 9) についても、冬季の針葉の色調はテスタークローンとは異なる暗黄緑色を呈する。黄土色のスギ (Cr-330, Cr-449) は、宮崎県北諸県郡の人工林から収集した個体の自家受粉家系から検出した個体である。実験に供した針葉色が赤色のスギには種々の赤色系の色調のものが含まれているが、色による厳密な区分が困難なので、一括し

て赤色と表示した。

なお、柳杉はすべて1980年に中国林業科学院から中華人民共和国林業部、日本国外務省を経由して林業試験場に送られてきた種子から育苗したものである。

2.2 色調及び個体の表示

この報告では、交配親のうち冬季の針葉色の表現型が鮮明な緑色になるスギをミドリスギ、在来さし木品種の淡黄緑を呈するスギを淡黄緑スギ、柳杉の暗黄緑になるスギを暗黄緑スギ、黄土色になるスギを黄土スギと表記し、これらを除くすべてのスギをアカスギと記すことにした。

親スギの自家受粉及び他家受粉の家系に出現した F_1 個体については、着目形質によってミドリ（型）苗、黄土（型）苗、黄褐（型）苗と表記し、これらを除くすべての苗をアカ（型）苗と記した。なお、ここで記した黄褐苗は、ミドリスギと黄土スギの正逆交配家系だけに出現する黄褐色の針葉をもつ苗である。 F_1 個体の自家受粉及び他家受粉による F_2 家系苗についても同様に表記した。

2.3 交配組み合わせと色調の調査

柳杉を含む交配親のミドリスギ、淡黄緑スギ、暗黄緑スギ、黄土スギ及びアカスギについて自家受粉、他家受粉を行い、後代家系に出現するミドリ苗、黄土苗、アカ苗などの色調の分離を調べた。また、ミドリスギと黄土スギ、ミドリスギとアカスギ、黄土スギとアカスギのそれぞれの正逆交配に由来する F_1 個体を用いて自家受粉及び戻し交配を行い、その後代家系に出現する色調の分離を調べた。さらに産地の異なる緑色のスギについてミドリ遺伝子の対立性を検定するための交配を行った。

交配は1972年から1984年にかけて林業試験場構内（東京・目黒並びに茨城・茎崎）、狭間苗畑（東京・八王子）、千代田試験地（茨城・千代田）及び筑波共同試験地で実施した。花粉の採取、人工交配及び交配種子の調整などは従来（菊池、1980、1981）によった。

採取した精選種子は翌年春に、まきつけ箱に播種した。育苗はガラス室、ファイロンハウス、苗畑及び千代田試験地で行った。

交配家系苗の針葉色の判定は、まきつけ年及び翌年の12月から2月までの観察によった。

2.4 ロドキシサンチンの定量

分析試料に用いた個体は、ミドリスギ、黄土スギ及びアカスギに由来する自家受粉及び他家受粉の後代家系苗から色調に応じてそれぞれ5～10個体を選出し、1985年1月に針葉を採取した。色素成分の分析は、元岐阜大学農学部教授安江保民博士に依頼した。その方法と結果については織田ら（1986）が報告したとおりである。

Table 1. 交配に用いた親スギ
Parent clones used for crossing

番号 Index No.	名称 Clone name	冬季針葉色 Phenotype in winter	入手年 Year of collect	原産地・由来 Selected site and source
Cr-322	浅川 23 Asakawa	緑 Green	1970	宮城県 千葉 (1953), 福原 (1963) が遺伝実験に用いたミドリスギ系統苗 For. & For. Prod. Res. Inst.,
Cr-323	浅川 24 Asakawa	緑 Green	1970	宮城県 千葉 (1953), 福原 (1963) が遺伝実験に用いたミドリスギ系統苗 For. & For. Prod. Res. Inst.,
Cr-325	浅川 26 Asakawa	緑 Green	1970	宮城県 千葉 (1953), 福原 (1963) が遺伝実験に用いたミドリスギ系統苗 For. & For. Prod. Res. Inst.,
Cr-326	浅川 27 Asakawa	緑 Green	1970	宮城県 千葉 (1953), 福原 (1963) が遺伝実験に用いたミドリスギ系統苗 For. & For. Prod. Res. Inst.,
Cr-226	浅川 6 Asakawa	緑 Green	1969	栃木県 宇都宮営林署苗畑産事業用苗 For. & For. Prod. Res. Inst.,
Cr-317	浅川 1 Asakawa	緑 Green	1970	Tochigi Pref., national and man-made forest. 東京都八王子市
Cr-318	浅川 2 Asakawa	緑 Green	1970	Hachioji, Tokyo, 東京都八王子市
Cr-319	浅川 3 Asakawa	緑 Green	1970	Hachioji, Tokyo, 東京都八王子市
Cr-320	浅川 4 Asakawa	緑 Green	1970	Hachioji, Tokyo, 東京都八王子市
Cr-321	浅川 5 Asakawa	緑 Green	1970	Hachioji, Tokyo, 東京都八王子市
Cr-331	地新城 2 Ji-shinshiro	緑 Green	1969	Hachioji, Tokyo, 愛知県北設楽郡 新城営林署管内段戸国有林 Kitashitara, Aichi Pref., national and man-made forest.

Table 1. (つづき) (Continued)

番号 Index No.	名称 Clone name	冬季針葉色 Phenotype in winter	入手年 Year of collect	原産地・由来 Selected site and source
Cr-399	目黒 71 Meguro	緑 Green	1971	鹿児島県 下屋久営林署管内 ヤクスギ天然林 Yakushima, Kagoshima Pref., national and natural forest.
Cr-400	目黒 72 Meguro	緑 Green	1971	鹿児島県 下屋久営林署管内 ヤクスギ天然林 Yakushima, Kagoshima Pref., national and natural forest,
Cr-418	浅川 20 Asakawa	緑 Green	1975	東京都八王子市 Hachioji, Tokyo,
Cr-448	目黒 29 Meguro	緑 Green	1972	宮崎県西諸県郡須木村 堂屋敷 1 号の自家受粉苗 Nishimorogata, Miyazaki Pref., national and man-made forest,
79-82-1	柳杉 <i>C. fortunei</i>	緑 Green	1979	中国浙江省臨海 Linhai, Chechiang, the People's Republic of China
Cr-13	精 竹田署 4 Takeda syo	淡黄緑 Pale yellow green	1966	大分県 精英樹 (在来さし木品種アオスギ) Takeda, Oita Pref., Plus-trees (Cryptomeria cultivars Aosugi)
Cr-14	精 都城署 1 Miyakonojo syo	淡黄緑 Pale yellow green	1966	鹿児島県囃吹郡 精英樹 (在来さし木品種サツメアサ) Soo, Kagoshima Pref., Plus-trees (Cryptomeria cultivars Satsuma-measa)
Cr-16	椎葉ダスギ Shiiba Ji-sugi	淡黄緑 Pale yellow green	1966	宮崎県東臼杵郡椎葉村 十根川神社 (在来品種ダスギ) Shiiba, Higashiusuki, Miyazaki Pref., Cryptomeria cultivars Ji-sugi
79-82-2	柳杉 <i>C. fortunei</i>	暗黄緑 Dark ochreous green	1979	中国浙江省臨海 Linhai, Chechiang, the People's Republic of China
79-82-3	柳杉 <i>C. fortunei</i>	暗黄緑 Dark ochreous green	1979	中国浙江省臨海 Linhai, Chechiang, the People's Republic of China

Table 1. (つづき) (Continued)

番号 Index No.	名称 Clone name	冬季針葉色 Phenotype in winter	入手年 Year of collect	原産地・由来 Selected site and source
79-82-9	柳杉 <i>C. fortunei</i>	暗黄緑 Dark ochereous green	1979	中国浙江省臨海 Linhai, Chechiang, the People's Republic of China
Cr-330	目黒 28 Meguro	黄土 Yellow ochre	1970	宮崎県西諸県郡須木村 堂屋敷 2 号の自家受粉苗 Nishimorogata, Miyazaki Pref., national and man-made forest,
Cr-449	目黒 33 Meguro	黄土 Yellow ochre	1970	宮崎県西諸県郡須木村 堂屋敷 2 号の自家受粉苗 Nishimorogata, Miyazaki Pref., national and man-made forest,
Cr-43	静 6 Shizu	赤 Red	1968	静岡県 静岡県林業試験場 Shizuoka Pref. For. Exp. Sta. Hamakita
Cr-99	精 県西川 2 Nishikawa	赤 Red	1968	埼玉県入間郡名栗村 精英樹 Iruma, Saitama Pref., Plus-trees
Cr-100	目黒 1 Meguro	赤 Red	1968	東京都目黒区 Meguro, Tokyo,
Cr-227	浅川 7 Asakawa	赤 Red	1969	栃木県 宇都宮営林署苗畑産事業用苗 Tochigi Pref., Man-made forest,
Cr-324	浅川 25 Asakawa	赤 Red	1970	東京都八王子市 千葉 (1953), 福原 (1963) が遺伝実験に用いたアカスギ系統苗 Hachioji, Tokyo, For. & For. Prod. Res. Inst.,
Cr-457	早検木古内 7 Kikonai	赤 Red	1977	北海道 木古内営林署管内千軒国有林 Hokkaido, national and man-made forest,
Cr-458	早検木古内14 Kikonai	赤 Red	1977	北海道 木古内営林署管内千軒国有林 Hokkaido, national and man-made forest,

3 結果及び考察

3.1 親の交配

3.1.1 自家受粉

色調の異なる親スギ22クローンに由来する自家受粉25家系の表現型の分離, 期待分離比及び χ^2 -検定の結果をTable 2に示す。

ミドリスギの自家受粉11家系ではすべての個体がミドリ苗であった (Table 2-a)。黄土スギ2クローン (Cr-330, Cr-449) の自家受粉3家系ではすべての個体が黄土苗であった (Table 2-c)。アカスギ6クローンの自家受粉8家系ではすべての個体がアカ苗であった (Table 2-d)。一方, 在来さし木品種 (Cr-13, 14, 16) を親にした自家受粉3家系ではアカ苗とミドリ苗が出現し, その表現型の分離の割合はアカ苗:ミドリ苗が3:1であった (Table 2-b)。この家系群のアカ苗には濃度の異なる色調の苗が混在した。

自家受粉苗における色調の分離状況は, 親の遺伝子型を次のように想定することによって説明が可能である。すなわち, 針葉色は一つの遺伝子座によって決定され, ミドリスギ, 黄土スギ及びアカスギの遺伝子型は, それぞれ A_1A_1 , A_2A_2 及び A_3A_3 のホモ接合型である。従って, これらの自家受粉家系では形質の分離は起こらず, 親と同じ遺伝子型の苗が出現する。これに対し, 淡黄緑スギの遺伝子型は A_1A_3 のヘテロ接合型で, アカスギの遺伝子 A_3 はミドリスギの遺伝子 A_1 に対して優性であるため, A_3A_3 と A_1A_3 のアカないし淡黄緑苗 (ここでは一括してアカ苗とする) とミドリ苗が3:1の割合に分離して出現すると考えられる。

3.1.2 ミドリスギ遺伝子の対立性検定

産地の異なるミドリスギ及びミドリ柳杉とミドリ形質のテスタークローンとの, 他家受粉を中心にしたミドリスギ間の交配組み合わせ及びその結果をTable 3に示す。この交配は地域の異なるミドリスギのミドリ形質の遺伝子の対立性検定の意味をもっている。

実験の結果, ミドリスギ14クローン及びミドリ柳杉1個体の他家受粉37家系のすべてからミドリ苗だけが出現し, アカ苗の出現はなかった (Table 3)。このような結果が得られたのは, ミドリ柳杉を含め産地の異なるすべてのミドリスギが, 同じ遺伝子座において, ミドリ形質を発現する共通の遺伝子 A_1 をホモ接合型 A_1A_1 で保有していることによるものと考えられる。

3.1.3 異なる針葉色をもつ親スギの他家受粉

色調の異なる親スギクローンの他家受粉の結果をTable 4に示す。

アカスギ×ミドリスギとの正逆交配9家系においては, ミドリ苗の出現はなく, アカ苗のみであった (Table 4-a)。アカスギ×黄土スギの2家系からもミドリ苗の出現はなく, アカ苗のみであった (Table 4-b)。ミドリスギと黄土スギとの正逆交配10家系からは, ミドリ苗も黄土苗も出現しなかった。得られた苗の色調は黄土色よりも赤味を帯びた黄褐色であった。この事象は形質間に優劣性がないことを示している (Table 4-c)。

Table 2. 親スギの自家受精における針葉色形質の分離
Segregation of needle color in selfed seedlings of parent clones.

家系番号	交配組み合わせ		交配年	観察数 ¹⁾				期待分離比とその適合		
	雌親 ¹⁾	花粉親		計	アカ苗	黄土苗	ミドリ苗	表現型の分離 ¹⁾	期待分離比 ²⁾	χ^2 - 検定
Family No.	Female	Male	Year of crossing	Total	Red	Yel.	Gre.	Segregation of phenotype	Segregating ratio	Chi-square
a (ミドリスギ)										
82-54	Cr-317 (Gre.)	Self	1982	32	0	0	32	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
75-84	Cr-318 (Gre.)	Self	1975	86	0	0	86	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
75-89	Cr-319 (Gre.)	Self	1975	36	0	0	36	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
75-90	Cr-320 (Gre.)	Self	1975	86	0	0	86	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
75-92	Cr-321 (Gre.)	Self	1975	92	0	0	92	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
73-8	Cr-322 (Gre.)	Self	1973	182	0	0	182	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
72-53	Cr-323 (Gre.)	Self	1972	5	0	0	15	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
82-27	Cr-226 (Gre.)	Self	1982	8	0	0	8	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
73-17	Cr-331 (Gre.)	Self	1973	83	0	0	83	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
82-93	Cr-400 (Gre.)	Self	1982	2	0	0	2	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
80-82	Cr-448 (Gre.)	Self	1980	29	0	0	29	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
b (淡黄緑スギ)										
74-21	Cr-13 (P.G.)	Self	1974	13	9	0	4	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	3:1	0.231 NS
73-3	Cr-14 (P.G.)	Self	1973	19	12	0	7	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	3:1	1.421 NS
73-5	Cr-16 (P.G.)	Self	1973	17	13	0	4	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	3:1	0.020 NS
c (黄土スギ)										
73-15	Cr-330 (Yel.)	Self	1973	35	0	35	0	アカ苗 Red : 黄土苗 Yel.	0:1	
82-75	Cr-330 (Yel.)	Self	1982	84	0	84	0	アカ苗 Red : 黄土苗 Yel.	0:1	

Table 2. (つづき) (Continued)

家系番号 Family No.	交配組み合わせ Cross combination		交配年 Year of crossing	観察数 ¹⁾ Number of seedlings examined			期待分離比とその適合 Expected segregation ratio and fitness		
	雌親 ¹⁾ Female	花粉親 Male		計 Total	アカ苗 Red	黄土苗 Yel.	表現型の分離 ¹⁾ Segregation of phenotype	期待分離比 ²⁾ Segregating ratio	χ^2 - 検定 Chi-square
76-121	Cr-449 (Yel.)	Self	1976	30	0	30	アカ苗 Red : 黄土苗 Yel.	0:1	
d (アカスギ)									
76-34	Cr-43 (Red)	Self	1976	126	126	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0	
77-26	Cr-43 (Red)	Self	1977	29	29	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0	
77-62	Cr-99 (Red)	Self	1977	21	21	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0	
81-14	Cr-99 (Red)	Self	1981	21	21	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0	
76-93	Cr-100 (Red)	Self	1976	116	116	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0	
82-28	Cr-227 (Red)	Self	1982	56	56	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0	
82-111	Cr-457 (Red)	Self	1982	16	16	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0	
82-116	Cr-458 (Red)	Self	1982	70	70	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0	

1) 表現型の表示 : Expression of phenotypes

Gre. : ミドリ (苗) Green, P.G. : 淡黄緑 (苗) Pale yellow green, Yel. : 黄土 (苗) Yellow ochre, Red : アカ (苗) Red

2) 遺伝子型の想定 : Expected genotypes.

Green (A₁A₁), Pale yellow green (A₁A₃), Yellow ochre (A₂A₂), Red (A₃A₃)

Table 3. 産地の異なるミドリスギ交配による対立性検定
 Allelism test on the winter-green genes with the out-crosses between winter-green parents collected from different regions.

家系番号	交配組み合わせ ¹⁾		交配年	観 察 数 ¹⁾			期待分離比とその適合				
	Cross combination			Number of seedlings examined			Expected segregation ratio and fitness				
	雌親 Female	花粉親 Male		Year of crossing	計 Total	アカ苗 Red	ミドリ苗 Gre.	表現型の分離 ¹⁾ Segregation of phenotype	期待分離比 ²⁾ Segregating ratio	χ^2 - 検定 Chi-square	χ^2 p
Family No.											
75-115	Cr-226 (Gre.)	× Cr-317 (Gre.)	1975	100	0	100	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
81- 24	Cr-226 (Gre.)	× Cr-321 (Gre.)	1981	32	0	32	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
75- 82	Cr-317 (Gre.)	× Cr-318 (Gre.)	1975	6	0	6	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
75- 83	Cr-317 (Gre.)	× Cr-325 (Gre.)	1975	5	0	5	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
75- 85	Cr-318 (Gre.)	× Cr-317 (Gre.)	1975	26	0	26	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
75- 86	Cr-318 (Gre.)	× Cr-322 (Gre.)	1975	4	0	4	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
75- 88	Cr-318 (Gre.)	× Cr-325 (Gre.)	1975	49	0	49	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
75- 91	Cr-320 (Gre.)	× Cr-325 (Gre.)	1975	144	0	144	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
75- 93	Cr-321 (Gre.)	× Cr-317 (Gre.)	1975	84	0	84	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
72- 58	Cr-321 (Gre.)	× Cr-322 (Gre.)	1972	39	0	39	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
75- 95	Cr-321 (Gre.)	× Cr-325 (Gre.)	1975	43	0	43	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
75-101	Cr-322 (Gre.)	× Cr-317 (Gre.)	1975	125	0	125	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
75-102	Cr-322 (Gre.)	× Cr-318 (Gre.)	1975	476	0	476	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
75-104	Cr-322 (Gre.)	× Cr-325 (Gre.)	1975	321	0	321	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
75-106	Cr-323 (Gre.)	× Cr-317 (Gre.)	1975	176	0	176	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
75-107	Cr-323 (Gre.)	× Cr-318 (Gre.)	1975	51	0	51	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
81- 75	Cr-323 (Gre.)	× Cr-321 (Gre.)	1981	179	0	179	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
72- 56	Cr-323 (Gre.)	× Cr-322 (Gre.)	1972	61	0	61	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
75-109	Cr-323 (Gre.)	× Cr-325 (Gre.)	1975	17	0	17	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			
81- 77	Cr-323 (Gre.)	× Cr-418 (Gre.)	1981	25	0	25	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1			

Table 3. (つづき) (Continued)

家系番号 Family No.	交配組み合わせ ¹⁾ Cross combination		交配年 Year of crossing	観 察 数 ¹⁾ Number of seedlings examined			期待分離比とその適合 Expected segregation ratio and fitness		
	雌親 Female	花粉親 Male		計 Total	アカ苗 Red	ミドリ苗 Gre.	表現型の分離 ¹⁾ Segregation of phenotype	期待分離比 ²⁾ Segregating ratio	χ^2 - 検定 Chi-square
76-107	Cr-323 (Gre.)	× Cr-448 (Gre.)	1976	117	0	117	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
77-73	Cr-331 (Gre.)	× Cr-322 (Gre.)	1977	15	0	15	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
73-14	Cr-331 (Gre.)	× Cr-326 (Gre.)	1973	19	0	19	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
73-15	Cr-331 (Gre.)	× Cr-448 (Gre.)	1973	214	0	214	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
82-90	Cr-399 (Gre.)	× Cr-317 (Gre.)	1982	14	0	14	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
82-91	Cr-399 (Gre.)	× Cr-321 (Gre.)	1982	3	0	3	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
81-123	Cr-399 (Gre.)	× Cr-323 (Gre.)	1981	2	0	2	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
81-125	Cr-400 (Gre.)	× Cr-321 (Gre.)	1981	5	0	5	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
80-96	Cr-400 (Gre.)	× Cr-322 (Gre.)	1980	7	0	7	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
80-97	Cr-400 (Gre.)	× Cr-323 (Gre.)	1980	10	0	10	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
81-127	Cr-400 (Gre.)	× Cr-418 (Gre.)	1981	3	0	3	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
82-94	Cr-400 (Gre.)	× Cr-321 (Gre.)	1982	12	0	12	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
81-148	Cr-448 (Gre.)	× Cr-321 (Gre.)	1981	117	0	117	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
80-73	Cr-448 (Gre.)	× Cr-323 (Gre.)	1980	12	0	12	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
73-10	Cr-448 (Gre.)	× Cr-326 (Gre.)	1973	44	0	44	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
81-149	Cr-448 (Gre.)	× Cr-418 (Gre.)	1981	175	0	175	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	
83-625	79-82-1 (Gre.)	× Cr-323 (Gre.)	1983	9	0	9	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	0:1	

1) 表現型の表示 : Expression of phenotypes

Gre. : ミドリ (苗) Green, Red : アカ (苗) Red

2) 遺伝子型の想定 : Expected genotypes

すべてのミドリスギは (A, A₁) : All of the winter-green parents are (A, A₁)

Table 4. 異なる針葉色をもつ親スギの他家受粉家系における形質の分離と期待分離比の適合
Segregation of needle color in seedlings after reciprocal crosses between different phenotypic parents

家系番号	交配組み合わせ ¹⁾		交配年	観 察 数 ¹⁾						期待分離比とその適合		
	Cross combination			Number of seedlings examined						Expected segregation ratio and fitness		
	雌親 Female	花粉親 Male		計	アカ苗 Red	黄土苗 Yel.	黄褐苗 Och.	ミドリ苗 Gre.	表現型の分離 ¹⁾ Segregation of phenotype	期待分離比 ²⁾ Segregating ratio	χ^2 - 検定 Chi-square	
Family No.			Year of crossing	Total	Red	Yel.	Och.	Gre.			χ^2 p	
a (Red × Gre. or Gre. × Red)												
82- 29	Cr-227 (Red)	×Cr-317 (Gre.)	1982	161	161	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0		
72- 43	Cr-227 (Red)	×Cr-322 (Gre.)	1972	64	64	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0		
72- 44	Cr-227 (Red)	×Cr-324 (Gre.)	1972	68	68	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0		
76-101	Cr-317 (Gre.)	×Cr-227 (Red)	1976	50	50	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0		
72- 52	Cr-322 (Gre.)	×Cr-324 (Red)	1972	22	22	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0		
76-106	Cr-323 (Gre.)	×Cr-100 (Red)	1976	49	49	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0		
72- 57	Cr-323 (Gre.)	×Cr-324 (Red)	1972	5	5	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0		
81- 84	Cr-324 (Red)	×Cr-321 (Gre.)	1981	37	37	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0		
81- 85	Cr-324 (Red)	×Cr-418 (Gre.)	1981	32	32	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0		
b (Red × Yel.)												
74- 96	Cr- 43 (Red)	×Cr-330 (Yel.)	1974	17	17	0	0	0	アカ苗 Red : 黄土苗 Yel.	1:0		
76- 43	Cr- 43 (Red)	×Cr-330 (Yel.)	1976	139	139	0	0	0	アカ苗 Red : 黄土苗 Yel.	1:0		
c (Gre. × Yel. or Yel. × Gre.)												
76-102	Cr-317 (Gre.)	×Cr-330 (Yel.)	1976	150	0	0	150	0	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	0:1:0		
76-105	Cr-317 (Gre.)	×Cr-449 (Yel.)	1976	94	0	0	94	0	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	0:1:0		
82- 76	Cr-330 (Yel.)	×Cr-317 (Gre.)	1982	29	0	0	29	0	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	0:1:0		
81- 87	Cr-330 (Yel.)	×Cr-321 (Gre.)	1981	29	0	0	29	0	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	0:1:0		
76-124	Cr-330 (Yel.)	×Cr-323 (Gre.)	1976	24	0	0	24	0	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	0:1:0		

Table 4. (つづき) (Continued)

家系番号	交配組み合わせ ¹⁾		交配年	観 察 数 ¹⁾					期待分離比とその適合		
	Cross combination			Number of seedlings examined					Expected segregation ratio and fitness		
	雌親 Female	花粉親 Male		計 Total	アカ苗 Red	黄土苗 Yel.	黄褐苗 Och.	ミドリ苗 Gre.	表現型の分離 ¹⁾ Segregation of phenotype	期待分離比 ²⁾ Segregating ratio	χ^2 - 検定 Chi-square
Family No.			Year of crossing								χ^2 p
81- 88	Cr-330 (Yel.)	× Cr-323 (Gre.)	1981	85	0	0	85	0	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	0 : 1 : 0	
81- 89	Cr-330 (Yel.)	× Cr-418 (Gre.)	1981	12	0	0	12	0	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	0 : 1 : 0	
73- 12	Cr-330 (Yel.)	× Cr-448 (Gre.)	1973	80	0	0	80	0	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	0 : 1 : 0	
76-125	Cr-330 (Yel.)	× Cr-448 (Gre.)	1976	20	0	0	20	0	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	0 : 1 : 0	
76-122	Cr-449 (Yel.)	× Cr-323 (Gre.)	1976	24	0	0	24	0	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	0 : 1 : 0	
d (P.G. × Gre. or Gre. × P.G.)											
74- 29	Cr- 13 (P.G.)	× Cr-226 (Gre.)	1974	51	27	0	0	24	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	0.176 NS
72- 7	Cr- 13 (P.G.)	× Cr-322 (Gre.)	1972	11	7	0	0	4	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	0.818 NS
74- 30	Cr- 13 (P.G.)	× Cr-325 (Gre.)	1974	84	40	0	0	44	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	0.190 NS
74- 31	Cr- 13 (P.G.)	× Cr-326 (Gre.)	1974	89	39	0	0	50	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	1.360 NS
74- 38	Cr- 14 (P.G.)	× Cr-325 (Gre.)	1974	60	31	0	0	29	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	0.067 NS
73- 4	Cr- 14 (P.G.)	× Cr-326 (Gre.)	1973	26	13	0	0	13	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	0.000 NS
73- 6	Cr- 16 (P.G.)	× Cr-226 (Gre.)	1973	6	4	0	0	2	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	0.667 NS
75- 96	Cr- 16 (P.G.)	× Cr-317 (Gre.)	1975	29	13	0	0	16	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	0.310 NS
72- 50	Cr-322 (Gre.)	× Cr- 13 (P.G.)	1972	15	12	0	0	3	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	5.400 *
e (Gre. × D.G. or D.G. × Gre.)											
83- 36	Cr-317 (Gre.)	× 79-82-9 (D.G.)	1983	47	22	0	0	25	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	0.192 NS
83- 41	Cr-321 (Gre.)	× 79-82-9 (D.G.)	1983	171	89	0	0	82	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	0.287 NS
83- 45	Cr-322 (Gre.)	× 79-82-9 (D.G.)	1983	111	58	0	0	53	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	0.023 NS
83- 50	Cr-323 (Gre.)	× 79-82-9 (D.G.)	1983	115	67	0	0	48	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	3.139 NS

Table 4. (つづき) (Continued)

家系番号	交配組み合わせ ¹⁾		交配年	観 察 数 ¹⁾						期待分離比とその適合			
	Cross combination			Number of seedlings examined						Expected segregation ratio and fitness			
	雌親 Female	花粉親 Male		Year of crossing	計	アカ苗 Red	黄土苗 Yel.	黄褐苗 Och.	ミドリ苗 Gre.	表現型の分離 ¹⁾ Segregation of phenotype	期待分離比 ²⁾ Segregating ratio	χ^2 - 検定 Chi-square	p
86- 4	Cr-317 (Gre.)	×79-82-2 (D.G.)	1986	76	37	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:1	0.053	NS	
86- 5	Cr-317 (Gre.)	×79-82-3 (D.G.)	1986	213	99	0	0	114	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:1	1.056	NS	
83-626	79-82-2 (D.G.)	×Cr-323 (Gre.)	1983	9	4	0	0	5	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:1	0.111	NS	
83-627	79-82-3 (D.G.)	×Cr-323 (Gre.)	1983	17	9	0	0	8	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:1	0.059	NS	
f (P.G.×P.G.)													
74- 23	Cr-13 (P.G.)	×Cr-14 (P.G.)	1974	23	16	0	0	7	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	3:1	0.362	NS	
74- 24	Cr-13 (P.G.)	×Cr-16 (P.G.)	1974	25	17	0	0	8	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	3:1	0.163	NS	

* : 5 % 水準で有意 Significant at 5% level

1) 表現型の表示 : Expression of phenotypes

Gre. : ミドリ (苗) Green ,

P.G. : 淡黄緑 (苗) Pale yellow green ,

D.G. : 暗黄緑 (苗) Dark ochereous green ,

Yel. : 黄土 (苗) Yellow ochre ,

Och. : 黄褐 (苗) Ochereous red ,

Red : アカ (苗) Red

2) 遺伝子型の想定 : Expected genotypes

Green (A₁A₁),Pale yellow green (A₁A₃),Dark ochereous green (A₁A₃)Yellow ochre (A₂A₂),Ochereous red (A₁A₂),Red (A₃A₃)

ミドリスギと淡黄緑スギとの正逆交配9家系のうち8家系で、アカ苗とミドリ苗が1:1の割合で分離した (Table 4-d)。この淡黄緑スギは九州の在来さし木品種である。ミドリスギと柳杉 (暗黄緑スギ) 3個体との正逆交配8家系からは、アカ苗とミドリ苗が1:1の割合で分離した (Table 4-e)。淡黄緑スギ間の交配2家系からは、アカ苗とミドリ苗が3:1の割合で分離した (Table 4-f)。

以上の結果は、用いた親の遺伝子型及び遺伝子の優劣関係を、前述の3.1.1項と同様に想定することで説明が可能である。すなわち、ミドリスギ、黄土スギ及びアカスギの遺伝子型を A_1A_1 、 A_2A_2 及び A_3A_3 のホモ接合型とし、淡黄緑スギ及び暗黄緑スギの遺伝子型を A_1A_3 のヘテロ接合型とする。ここで、アカ遺伝子 A_3 が、ミドリ遺伝子 A_1 及び黄土スギ遺伝子 A_2 に対して完全優性であるとすれば、他家交配で生ずる A_1A_1 、 A_2A_2 型苗は、それぞれミドリ苗及び黄土苗となり、 A_1A_3 、 A_2A_3 及び A_3A_3 型の苗は、色調に差異はあるがアカ苗になる。また、ミドリ遺伝子 A_1 と黄土遺伝子 A_2 の間には優劣関係がないものとすれば、 A_1A_2 のヘテロ接合型苗の表現型は両親と異なる単一型 (ここでは黄褐色) の色調になる現象も説明できる。

3.2 F_1 個体を用いた交配

3.2.1 F_1 個体の自家受粉

色調の異なる親スギの交配に由来する F_1 個体における自家受粉家系の表現型の分離、期待分離比及びその χ^2 -検定の結果をTable 5に示す。

ミドリスギと黄土スギの正逆交配に由来する F_1 4家系における家系苗の色調はすべて黄褐色である。この黄褐色個体を用いた自家受粉17家系からミドリ苗:黄褐色苗:黄土苗が1:2:1に分離した (Table 5-a)。ミドリスギとアカスギの正逆交配に由来する F_1 2家系における家系苗の色調はすべて赤色系であった。これらの個体を用いた自家受粉13家系からはアカ苗とミドリ苗が3:1に分離した (Table 5-b)。

以上の結果は、これまでに述べた仮定を想定することによって矛盾なく説明が可能である。すなわち、ミドリスギ A_1A_1 と黄土スギ A_2A_2 及びミドリスギ A_1A_1 とアカスギ A_3A_3 の F_1 個体の遺伝子型は、それぞれ A_1A_2 及び A_1A_3 となり、この自家受粉で遺伝子型の分離は $1A_2A_2:2A_1A_2:1A_1A_1$ 及び $1A_3A_3:2A_1A_3:1A_1A_1$ となる。前者では、 A_1 と A_2 の間に優劣関係がないため、表現型の分離はそのまま1:2:1になった。後者では A_3 が A_1 に対して優性であるため、表現型の分離は3:1になったと考えられる。

3.2.2 F_1 個体を用いた戻し交配

ミドリスギ、黄土スギ及びアカスギに由来する F_1 個体を用いた戻し交配の結果をTable 6に示す。ミドリスギと黄土スギの正逆交配に由来する F_1 個体は、すべて黄褐色であったが、これにミドリスギを戻し交配した11家系からはミドリ苗と黄褐色苗が1:1の割合で分離した (Table 6-a)。黄土スギとミドリスギの交配に由来する黄褐色 F_1 個体に黄土スギを戻し交配した7家系からは黄土苗と黄褐色苗が1:1の割合で分離した (Table 6-b)。アカスギとミドリスギの交配に由来する F_1 個体はすべてアカスギであり、これにミドリスギを戻し交配した7家系からはアカ苗とミドリ苗が分離し、その表現型の分離はアカ型:ミドリ型が1:1であった (Table 6-c)。アカスギとミドリスギの交配に由来するアカスギ F_1 個体にアカスギを戻し交配した9家系では、すべてがアカ苗であった (Table 6-d)。

Table 5. F₁ 個体の自家受粉における針葉色の分離と期待分離比の適合
Segregation of needle color in the selfed families from F₁ individuals produced in crosses of Table 4.

家系番号	交配組み合わせ		交配年	観察数 ¹⁾				期待分離比とその適合		
	雌親 ¹⁾	雄親 ¹⁾		計	7カ苗	黄土苗	黄褐苗	表現型の分離 ¹⁾	期待分離比 ²⁾	χ ² -検定
Family No.	Female	Male	Year of crossing	Total	Red	Yel.	Och. Gre.	Segregation of phenotype	ratio	Chi-square
a (ミドリGre.と黄土Yel.のF ₁ の自家受粉)										
(Cr-317Gre.×Cr-330Yel.)										
82-420	76-102-1 (Och.)	Self	1982	11	0	1	7	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. :	ミドリ苗 Gre. 1:2:1	1.545 NS
82-421	76-102-2 (Och.)	Self	1982	19	0	4	13	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. :	ミドリ苗 Gre. 1:2:1	3.000 NS
82-423	76-102-3 (Och.)	Self	1982	56	0	17	29	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. :	ミドリ苗 Gre. 1:2:1	1.821 NS
82-427	76-102-4 (Och.)	Self	1982	23	0	6	12	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. :	ミドリ苗 Gre. 1:2:1	0.130 NS
82-428	76-102-5 (Och.)	Self	1982	56	0	12	33	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. :	ミドリ苗 Gre. 1:2:1	1.828 NS
82-430	76-102-6 (Och.)	Self	1982	16	0	3	12	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. :	ミドリ苗 Gre. 1:2:1	2.500 NS
82-432	76-102-8 (Och.)	Self	1982	23	0	6	15	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. :	ミドリ苗 Gre. 1:2:1	4.587 NS
82-436	76-102-11 (Och.)	Self	1982	44	0	12	21	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. :	ミドリ苗 Gre. 1:2:1	0.136 NS
(Cr-330Yel.×Cr-323Gre.)										
82-486	76-124-1 (Och.)	Self	1982	50	0	11	26	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. :	ミドリ苗 Gre. 1:2:1	0.240 NS
82-489	76-124-2 (Och.)	Self	1982	10	0	4	6	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. :	ミドリ苗 Gre. 1:2:1	3.600 NS
(Cr-330Yel.×Cr-448Gre.)										
82-491	76-125-3 (Och.)	Self	1982	84	0	20	34	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. :	ミドリ苗 Gre. 1:2:1	5.429 NS
82-494	76-125-4 (Och.)	Self	1982	34	0	11	11	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. :	ミドリ苗 Gre. 1:2:1	4.294 NS
82-498	76-125-5 (Och.)	Self	1982	56	0	20	20	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. :	ミドリ苗 Gre. 1:2:1	5.428 NS
(Cr-449Yel.×Cr-323Gre.)										
82-477	76-122-1 (Och.)	Self	1982	56	0	12	30	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. :	ミドリ苗 Gre. 1:2:1	0.429 NS
82-481	76-122-2 (Och.)	Self	1982	13	0	4	6	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. :	ミドリ苗 Gre. 1:2:1	0.231 NS
82-482	76-122-3 (Och.)	Self	1982	40	0	10	22	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. :	ミドリ苗 Gre. 1:2:1	0.600 NS
82-485	76-122-4 (Och.)	Self	1982	59	0	10	38	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och. :	ミドリ苗 Gre. 1:2:1	4.932 NS

Table 5. (つづき) (Continued)

家系番号	交配組み合わせ		交配年	観 察 数 ¹⁾						期待分離比とその適合		
	Cross combination			Number of seedlings examined						Expected segregation ratio and fitness		
	雌親 ¹⁾ Female	花粉親 Male		計	アカ苗 Red	黄土苗 Yel.	黄褐苗 Och.	ミドリ苗 Gre.	表現型の分離 ¹⁾ Segregation of phenotype	期待分離比 ²⁾ Segregating ratio	χ^2 - 検定 Chi-square	χ^2 p
b (ミドリGre.とアカRedのF ₁ の自家受粉) (Cr-317Gre.× Cr-227Red)												
82-408	76-101-1 (Red)	Self	1982	4	4	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	3 : 1	1.333	NS
82-410	76-101-2 (Red)	Self	1982	56	40	0	0	16	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	3 : 1	0.381	NS
82-413	76-101-3 (Red)	Self	1982	65	42	0	0	23	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	3 : 1	3.738	NS
82-416	76-101-7 (Red)	Self	1982	12	12	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	3 : 1	1.333	NS
82-417	76-101-8 (Red)	Self	1982	16	13	0	0	3	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	3 : 1	0.333	NS
(Cr-323Gre.× Cr-100Red)												
82-443	76-106-1 (Red)	Self	1982	9	9	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	3 : 1	3.060	NS
82-446	76-106-2 (Red)	Self	1982	18	15	0	0	3	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	3 : 1	0.667	NS
82-449	76-106-3 (Red)	Self	1982	23	21	0	0	2	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	3 : 1	3.261	NS
82-450	76-106-5 (Red)	Self	1982	48	37	0	0	11	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	3 : 1	0.111	NS
82-453	76-106-7 (Red)	Self	1982	14	12	0	0	2	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	3 : 1	0.857	NS
82-455	76-106-9 (Red)	Self	1982	79	69	0	0	10	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	3 : 1	6.418	*
82-456	76-106-10 (Red)	Self	1982	31	20	0	0	11	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	3 : 1	1.817	NS
82-459	76-106-11 (Red)	Self	1982	29	23	0	0	6	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	3 : 1	0.287	NS

* : 5%水準で有意 Significant at 5% level

1) 表現型の表示 : Expression of phenotypes

Gre. : ミドリ (苗) Green, Yel. : 黄土 (苗) Yellow och., Och. : 黄褐 (苗) Ocherous red, Red : アカ (苗) Red

2) 遺伝子型の想定 : Expected genotypes

Green (A₁A₁), Yellow och. (A₂A₂), Ocherous red (A₁A₂), Red (A₃A₃)

Table 6. F_1 個体を用いた戻し交配における針葉色の分離と期待分離比の適合
Segregation of needle color in the test crossed families derived from F_1 individuals produced in crosses of Table 4.

家系番号	交配組み合わせ ¹⁾		交配年	観 察 数 ¹⁾						期待分離比とその適合			
	Cross combination			Number of seedlings examined						Expected segregation ratio and fitness			
	雌親 Female	花粉親 Male		Year of crossing	計 Total	アカ苗 Red	黄土苗 Yel.	黄褐苗 Och.	ミドリ苗 Gre.	表現型の分離 ¹⁾ Segregation of phenotype	期待分離比 ²⁾ Segregating ratio	χ^2 - 検定 Chi-square	χ^2 p
a (ミドリGre.と黄土Yel.のF ₁ へのミドリGre.の戻し交配)													
(Cr-317×Cr-330)													
82- 57	Cr-317 (Gre.)	× 76-102-3 (Och.)	1982	81	0	0	39	42	黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	1:1	0.111	NS	
82- 58	Cr-317 (Gre.)	× 76-102-9 (Och.)	1982	49	0	0	24	25	黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	1:1	0.020	NS	
(Cr-449×Cr-323)													
82- 73	Cr-323 (Gre.)	× 76-122-1 (Och.)	1982	59	0	0	38	21	黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	1:1	4.898	*	
(Cr-330×Cr-323)													
82- 74	Cr-323 (Gre.)	× 76-124-1 (Och.)	1982	78	0	0	31	47	黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	1:1	3.282	NS	
(Cr-317×Cr-330)													
82-422	73-102-2 (Och.)	× Cr-317 (Gre.)	1982	14	0	0	7	7	黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	1:1	0.000	NS	
82-424	73-102-3 (Och.)	× Cr-317 (Gre.)	1982	47	0	0	26	21	黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	1:1	0.532	NS	
82-429	73-102-5 (Och.)	× Cr-317 (Gre.)	1982	44	0	0	20	24	黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	1:1	0.364	NS	
82-434	73-102-9 (Och.)	× Cr-317 (Gre.)	1982	93	0	0	45	48	黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	1:1	0.097	NS	
(Cr-330×Cr-323)													
82-487	76-124-1 (Och.)	× Cr-323 (Gre.)	1982	44	0	0	18	26	黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	1:1	1.455	NS	
(Cr-449×Cr-323)													
82-478	76-122-1 (Och.)	× Cr-323 (Gre.)	1982	57	0	0	33	24	黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	1:1	1.421	NS	
82-483	76-122-3 (Och.)	× Cr-323 (Gre.)	1982	54	0	0	27	27	黄褐苗 Och. : ミドリ苗 Gre.	1:1	0.000	NS	

Table 6. (つづき) (Continued)

家系番号	交配組み合わせ ¹⁾		交配年	観 察 数 ¹⁾					期待分離比とその適合		
	Cross combination			Number of seedlings examined					Expected segregation ratio and fitness		
	雌親 Female	花粉親 Male		Year of crossing	計 Total	アカ苗 Red	黄土苗 Yel.	黄褐苗 Och.	ミドリ苗 Gre.	表現型の分離 ¹⁾ Segregation of phenotype	期待分離比 ²⁾ Segregating ratio
Family No.											χ^2 p
b (黄土Yel.とミドリGre.のF ₁ への黄土Yel.の戻し交配)											
82- 80	Cr-330 (Yel.)	× 73-12-6 (Och.) (Cr-317×Cr-330)	1982	37	0	18	19	0	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och.	1 : 1	0.027 NS
82- 83	Cr-330 (Yel.)	× 76-102-3 (Och.)	1982	7	0	5	2	0	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och.	1 : 1	1.286 NS
82- 84	Cr-330 (Yel.)	× 76-102-9 (Och.)	1982	18	0	7	11	0	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och.	1 : 1	0.889 NS
82- 85	Cr-330 (Yel.)	× 76-102-11 (Och.) (Cr-330×Cr-323)	1982	28	0	16	12	0	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och.	1 : 1	0.571 NS
82- 86	Cr-330 (Yel.)	× 76-124-1 (Och.) (Cr-330×Cr-448)	1982	14	0	6	8	0	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och.	1 : 1	0.286 NS
82- 87	Cr-330 (Yel.)	× 76-125-2 (Och.)	1982	31	0	15	16	0	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och.	1 : 1	0.032 NS
82- 88	Cr-330 (Yel.)	× 76-125-4 (Och.)	1982	17	0	11	6	0	黄土苗 Yel. : 黄褐苗 Och.	1 : 1	1.471 NS
c (アカRedとミドリGre.のF ₁ へのミドリGre.の戻し交配)											
(Cr-317×Cr-227)											
82-412	76-101-2 (Red)	× Cr-317 (Gre.)	1982	51	27	0	0	24	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	0.176 NS
82-415	76-101-3 (Red)	× Cr-317 (Gre.)	1982	123	72	0	0	51	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	3.585 NS
82-419	76-101-8 (Red)	× Cr-317 (Gre.) (Cr-323×Cr-100)	1982	43	21	0	0	22	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	0.023 NS
82-444	76-106-1 (Red)	× Cr-323 (Gre.)	1982	51	28	0	0	23	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	0.490 NS
82-447	76-106-2 (Red)	× Cr-323 (Gre.)	1982	9	7	0	0	2	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	2.778 NS
82-451	76-106-5 (Red)	× Cr-323 (Gre.)	1982	47	17	0	0	30	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	3.596 NS
82-457	76-106-10 (Red)	× Cr-323 (Gre.)	1982	76	46	0	0	30	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1 : 1	3.368 NS

Table 6. (つづき) (Continued)

家系番号	交配組み合わせ ¹⁾		交配年	観 察 数 ¹⁾						期待分離比とその適合			χ^2 - 検定 Chi-square	
	Cross combination			Number of seedlings examined						Expected segregation ratio and fitness				
	雌親 Female	花粉親 Male		計	アカ苗 Red	黄土苗 Yel.	黄褐苗 Och.	ミドリ苗 Gre.	表現型の分離 ¹⁾ Segregation of phenotype		期待分離比 ²⁾ Segregating ratio			
Family No.			Year of crossing	Total	Red	Yel.	Och.	Gre.				χ^2	p	
d (アカRedとミドリGre.のF ₁ へのアカRedの戻し交配) (Cr-317×Cr-227)														
82-409	76-101-1 (Red)	× Cr-227(Red)	1982	14	14	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0				
82-411	76-101-2 (Red)	× Cr-227(Red)	1982	9	9	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0				
82-414	76-101-3 (Red)	× Cr-227(Red)	1982	85	69	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0				
82-418	76-101-8 (Red)	× Cr-227(Red)	1982	28	28	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0				
(Cr-323×Cr-100) × (Cr-100 Self)														
82-445	76-106-1 (Red)	× 76-93-7 (Red)	1982	48	48	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0				
82-448	76-106-2 (Red)	× 76-93-7 (Red)	1982	24	24	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0				
82-452	76-106-5 (Red)	× 76-93-7 (Red)	1982	81	81	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0				
82-458	76-106-10 (Red)	× 76-93-7 (Red)	1982	84	84	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0				
82-460	76-106-11 (Red)	× 76-93-7 (Red)	1982	24	24	0	0	0	アカ苗 Red : ミドリ苗 Gre.	1:0				

* : 5 % 水準で有意 Significant at 5% level

1) 表現型の表示 : Expression of phenotypes

Gre. : ミドリ (苗) Green, Yel. : 黄土 (苗) Yellow och., Och. : 黄褐 (苗) Ochertous red, Red : アカ (苗) Red

2) 遺伝子型の想定 : Expected genotypes

Green (A₁ A₁), Yellow och (A₂ A₂), Ochertous red (A₁ A₂), Red (A₃ A₃)

ここで得られた F_2 家系における表現型のさまざまな分離結果についても、異なる針葉色をもつ親スギ間の交配 (Table 4) で想定した各針葉色の遺伝子型と遺伝子の優劣性の関係によってすべて説明が可能である。すなわち、ミドリスギと黄土スギの正逆交配に由来する F_1 個体の遺伝子型は A_1A_2 である。これにミドリスギ A_1A_1 を戻し交配すれば黄褐苗 A_1A_2 とミドリ苗 A_1A_1 が1:1に分離し、黄土スギ A_2A_2 を戻し交配すれば黄土苗 A_2A_2 と黄褐苗 A_1A_2 が1:1で分離する。また、アカスギとミドリスギの正逆交配に由来する F_1 個体の遺伝子型は A_1A_3 である。これにミドリスギ A_1A_1 を戻し交配すればアカ苗 A_1A_3 とミドリ苗 A_1A_1 が1:1で分離し、アカスギ A_3A_3 を戻し交配すれば、 F_2 家系の遺伝子型は A_3A_1 と3 A_3A_3 の2種類生じるが、 A_3 が A_1 に対して優性であるため、すべての苗がアカ型になると考えられる。

3.3 針葉の色調とロドキシサンチンの含有量

1982年1月に一部の交配家系のアカ苗、ミドリ苗、黄土苗及び黄褐苗について赤色系色素成分ロドキシサンチンの含有量を調べたので、その結果をFig. 1に示す。ミドリスギ (Cr-317) の自家受粉家系 (A)、ミドリスギ (Cr-317) × 黄土スギ (Cr-330) の F_1 個体の自家受粉家系 (B) 及びミドリスギ (Cr-317) × アカスギ (Cr-227) の F_1 個体にミドリスギ (Cr-317) を戻し交配した家系 (D) の3家系から出現したミドリ苗にはロドキシサンチンが含有されていなかった。黄土スギ (Cr-330) の自家受粉家系 (C) 及びB家系の2家系に出現した黄土苗にはロドキシサンチンが含有されていた。

黄土スギ (Cr-330) とミドリスギ (Cr-317) の交配家系 (E) 及びB家系に出現した黄褐苗には黄土苗よりも多くのロドキシサンチンが含有されていた。アカスギ (Cr-457) の自家受粉家系 (F) 及びD家系の2家系に出現したアカ苗には黄褐苗よりもさらに多くのロドキシサンチンが含有されていた。このうちのF家系では濃度が異なる2色のアカ苗が出現したが、これらの間でもロドキシサンチンの含有量に差が認められた。ロドキシサンチンの含有量の多少の差が針葉色の色調に大きな影響を与え、ロドキシサンチンの含有量が多い個体ほど濃い赤色を帯びていることが観察された (Fig. 1)。

3.4 ミドリスギの地理的分布

ミドリスギのテスタークローン (Cr-322, Cr-323, Cr-325, Cr-326) とこれらのクローンを含む異なる地域のミドリスギとの他家受粉の結果、すべての交配家系からミドリ形質をもった苗が出現し、対立形質であるアカ形質、黄土形質をもった苗の出現は認められなかった (Table 3)。宮城県 (Cr-322, Cr-323, Cr-325, Cr-326)、栃木県 (Cr-226)、東京都 (Cr-317, Cr-318, Cr-319, Cr-320, Cr-321, Cr-418)、愛知県 (Cr-331)、宮崎県 (Cr-448)、鹿児島県 (Cr-399, Cr-400) の産地が異なるミドリスギ及び中国浙江省臨海産の柳杉の中のミドリスギ (79-82-1) がそれぞれ保有しているミドリ遺伝子は、すべて同じ遺伝子であると結論できた。また、九州の在来さし木品種のアオスギ、サツマメアサ、ダスギ及び一部の柳杉には、同一のミドリ遺伝子がヘテロ接合型で保有されていると結論された (Table 4-d, c)。アオスギ、サツマメアサについては、大庭 (1972) も同様の結果を得ている。

3.5 冬季針葉色形質に関する遺伝子の表記

スギの針葉色は夏季と冬季で色調が異なるが、ここでは、大規模な交配実験を行い、冬季における針葉色の遺伝様式を詳しく検討した。その結果を整理すれば以下のとおりである。冬季の苗畑におけるス

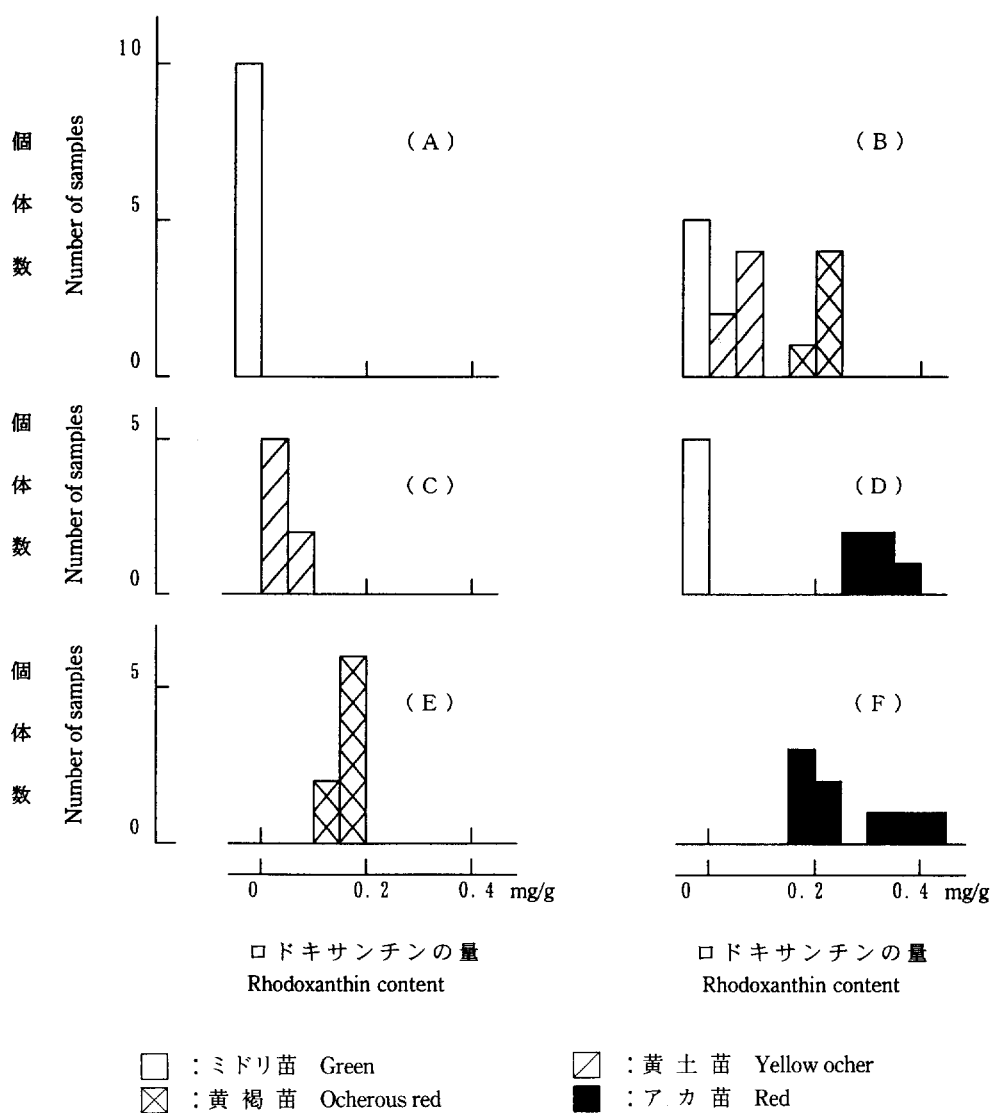


Fig. 1 ミドリスギ, 黄土スギ, アカスギに由来する自家受粉及び他家受粉の後代家系苗におけるロドキサントンの含有量

Rhodoxanthin content of progeny seedlings after selfing or crossing of different parents.

- A : (82- 54), Cr-317 Gre. self
 B : (82-423), (Cr-317 Gre. × Cr-330 Yel.) F_1 self
 C : (82- 75), Cr-330 Yel. self
 D : (82-415), (Cr-317 Gre. × Cr-227 Red) F_1 × Cr-317 Gre.
 E : (82- 76), Cr-317 Gre. × Cr-330 Yel.
 F : (82-111), Cr-457 Red self

ギの針葉色について、本報では基本的に千葉（1953）の分類（赤変型、黄変型、白変型及び緑色型）に従ったが、赤変型には赤味の濃淡によりさまざまな赤色系の色調が表現され、厳密な区分は肉眼的には困難である。この他に九州地方のさし木品種のように暖地では緑色であるが関東地方では淡黄緑色になるものや、柳杉の一部には暗黄緑色のものが存在する。また、ミドリスギと黄土スギの交配家系では、すべての苗の針葉色が両親と異なり、赤味を帯びた黄褐色になる。

このように、針葉の色調は極めて多様であり、未検討の部分も残されているが、針葉色形質の遺伝は、一つの遺伝子座を共有する複対立遺伝子を想定することにより説明が可能である。アカ遺伝子は、ミドリ遺伝子及び黄土遺伝子に対して優性であるが、ミドリ遺伝子と黄土遺伝子間には優劣関係がない。針葉の色調とロドキササンチン含有量とは密接な関連があり（肥田ら、1964；織田ら、1986）、ミドリ苗にはロドキササンチンが含有されていないが、黄土苗、黄褐苗、アカ苗の順にロドキササンチンの含有量が多くなる。

アカ苗では色調によりロドキササンチンの含有量に差があり、赤色の濃い苗ほど含有量が多い。ミドリ親と黄土親の交配家系で生ずる F_1 苗の色は、両親よりも濃い黄褐色となり、ロドキササンチンの含有量も両親より多く、ヘテロ接合体の表現型に超優性効果が現れるものと考えられる。

前節までは、針葉色形質を支配する遺伝子に対し、便宜的に A_1 、 A_2 、 A_3 の記号を与えて説明してきたが、前述のとおりアカ色系統は単純な1遺伝子ではなく、 A_3 、 $A_4 \cdot \cdot A_i$ などの複対立遺伝子を想定する方が合理的であると考えられる。また、針葉色における鮮明な緑色から濃赤色への変異が、ロドキササンチン含有量の無、少、多の変異と密接に関連している可能性が示された。

これらの事象を統一的に説明するために、遺伝子の表記を次のとおり提案する。すなわち、スギの冬季針葉色形質に関与する遺伝子の記号を、ロドキササンチン（Rhodoxanthin）の頭文字をとってRとする。複対立遺伝子の表記は、慣例により肩付き文字とする。ロドキササンチンが生合成されないミドリスギの遺伝子型を R^0 、ロドキササンチンが少量生合成される黄土スギの遺伝子型を R^1 とする。以下赤色系のスギで、ロドキササンチン含有量の少ないスギから多いスギに対して順次 R^2 、 R^3 、 $R^4 \cdot \cdot R^i$ の遺伝子記号を与える。現在のところ、赤色系スギの詳細な遺伝子分析がなされていないので、アカスギの遺伝子は R^i と一般形で表記するが、遺伝子が確定されれば、ロドキササンチン含有量などを考慮して R^2 、 $R^3 \cdot \cdot R^i$ 等の遺伝子記号を与えることが可能である。これらの遺伝子記号を用いることにより、本報告の交配実験における材料の表現型と遺伝子型及び冬季針葉色の遺伝様式は、Fig. 2のとおりとなり、すべての事例を統一的に説明することができる。なお、破線で示した交配家系の表現型と遺伝子型は、ここで得られた結果から推定される予測である。

この研究では、ロドキササンチンの含有量調査は予備的な段階にとどまったが、冬季におけるスギ針葉の色調に関する複対立遺伝子群の存在とロドキササンチンの含有量との関連を解明する手掛かりを示すことができた。今後は、さまざまな色調を呈する赤色系のスギ群について、ロドキササンチン含有量との関係を含め、遺伝様式を解明する必要がある。

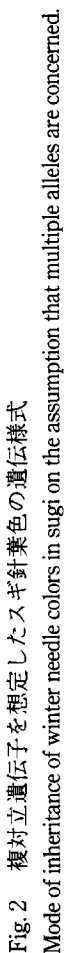


Fig. 2 複対立遺伝子を想定したスギ針葉色の遺伝様式

Mode of inheritance of winter needle colors in sugi on the assumption that multiple alleles are concerned.

破線 (----) は未実行 (予測) Into non action (prediction)

表現型 Phenotype

Red : アカスギ (苗)

Gre.: ミドリスギ (苗)

Yel.: 黄土スチ

Och.: 黃褐苗

遺伝子型 Genotype

 $R^i R^i, R^0 R^i, R^1 R^i$ $R^0 R^0$

Yellow ochre

Ocherous red

謝 辞

本研究を進めるに当たり、収集個体及び交配苗の育成管理をしていただいた森林総合研究所企画調整部連絡科実験林室並びに千代田試験地の各位、ロドキシナンチンの同定と定量をお願いした元岐阜大学農学部教授安江保民博士及び本報のとりまとめにご教示いただいた森林総合研究所生物機能開発部山本千秋遺伝科長に厚く謝意を表する。

引用文献

- 千葉 茂 (1953) : スギ針葉の冬季における変色の遺伝 (1), 針葉の変色の観察およびアカスギ, ミドリスギの交雑, 日林誌, 35(9), 286-289
- 中国植被編輯委員会編 (1980) : 中国植被, 科学出版社, 北京, 2250pp.
- FUKUHARA, N. (1963) : Inheritance of needles discoloration of (*Cryptomeria japonica* D. DON). World Consultation of Forest Genetics and Tree Improvement, Stockholm, FAO/FORGEN 63-1/7, 1-6
- 林 泰治 (1923) : 九州地方に於ける挿杉品種に就いて, 林学会雑誌, 10(1), 13-34
- 林 弥栄 (1951) : 日本産針葉樹の分類と分布, 針葉樹 1, 林試研報, (48), 146-168
- 肥田美知子, 井田和子 (1964) : スギ科植物の紅葉に見られる桃赤色のカロチノイドについて, 植雑, 77(918), 458-461
- 石崎厚美 (1965) : 九州におけるおもなスギさしき品種の形態, 生理, 造林上の特性, 林試研報, (180), 1-303
- 菊池秀夫 (1980) : スギ葉緑素異常 (白緑葉) の遺伝, 林試研報, (300), 163-170
- (1981) : スギ外向鉤形針葉の次代交配家系における分離, 日林誌, 63(11), 385-391
- , 村井正文 (1986) : 冬季の針葉色が異なる (黄土・ミドリ) スギの交配一代目家系における表現型, 97回日林論, 401-402
- (1991) : 冬季の針葉色がミドリになる柳杉 (*Cryptomeria fortunei*) の交配一代目家系における表現型の分離, 102回日林論, 377-378
- (1992) : スギの冬季の針葉色がミドリになる形質の対立性検定 — 日本のスギと柳杉との交雑, 103回日林論, 335-336
- 織田和久, 大橋英雄, 安江保民, 田中敏隆 (1986) : スギ針葉の冬季における変色について, 34回日林中部支論, 17-20
- 大庭喜八郎 (1972) : メアサ, キリシマメアサ, およびアオスギのミドリスギ劣性遺伝子, 日林誌, 54(1), 1-5
- , 前田武彦, 福原植勝 (1974) : ヨレスギの遺伝およびヨレ遺伝子と白子, ミドリスギの両劣性遺伝子との連鎖, 日林誌, 56(8), 256-281
- 佐多一至 (1931) : 杉の品種に関する研究の一端, 日林誌, 23(9) 491-498
- 相馬丑五郎 (1936) : 九州に於ける挿杉の種類とその類別, 日林誌, 18(2), 103-127
- 山内倭文夫 (1931) : 日田地方挿杉に対する二三の識別拠点について, 林学会雑誌, 13(6), 419-436

Inheritance of Winter Needle Color in Sugi, *Cryptomeria japonica* D. DON

KIKUTI, Hideo ⁽¹⁾

Summary

Among the color variants in sugi, *Cryptomeria japonica* D. DON, there is a form of variants in needle color in winter. Three variants of winter needle color in sugi, changing from green to red (red variant, ordinal variants), to yellow ochre (yellow ochre variants) and to green (no change, green variants), were used as the parents for making F_1 and F_2 progenies. Segregation of needle color in the test crossed families, and rhodoxanthin contents in progeny seedlings were investigated.

The results were as follows:

- (1) Gene R^1 , which causes the winter needle color to be red, was completely dominant and genes of green (R^0) and yellow ochre (R^1) were recessive. There was no dominance between green and yellow ochre genes. All seedlings of F_1 ($R^0 R^1$) between the green type ($R^0 R^0$) and yellow ochre type ($R^1 R^1$) showed ochreous red in phenotype.
- (2) There was no rhodoxanthin content in the needles from green type seedlings, but it appeared in yellow ochre type seedlings. The ochreous red type, F_1 from green type $\times$ yellow ochre type, had higher rhodoxanthin content than that of the yellow ochre type. This phenotypic expression seemed to be the dominant effect. The rhodoxanthin content of red type seedlings was much higher than that of the ochreous red type.
- (3) These genes of R^1 , R^2 and R^3 seemed to be multiple alleles on one locus. Also, there were some variations in tone of color and in rhodoxanthin content in the red type seedlings. This observation suggests there are also some multiple alleles in red types.
- (4) The identity of the green genes (R^0) detected in the seedlings from different provenances or seed sources: Miyagi, Tochigi, Tokyo, Aichi and Kagoshima prefectures, was proven by the allelism test. Furthermore, green type seedlings from *Cryptomeria fortunei* had the same gene as those from sugi *C. japonica*. Some needle color variants such as Takeda-syo 4 (Aosugi), Miyakonojyo-syo 1 (Satsumameasa) and Shiiba Ji-sugi were confirmed to have the same gene (R^0) as each other, having a form of heterozygote.

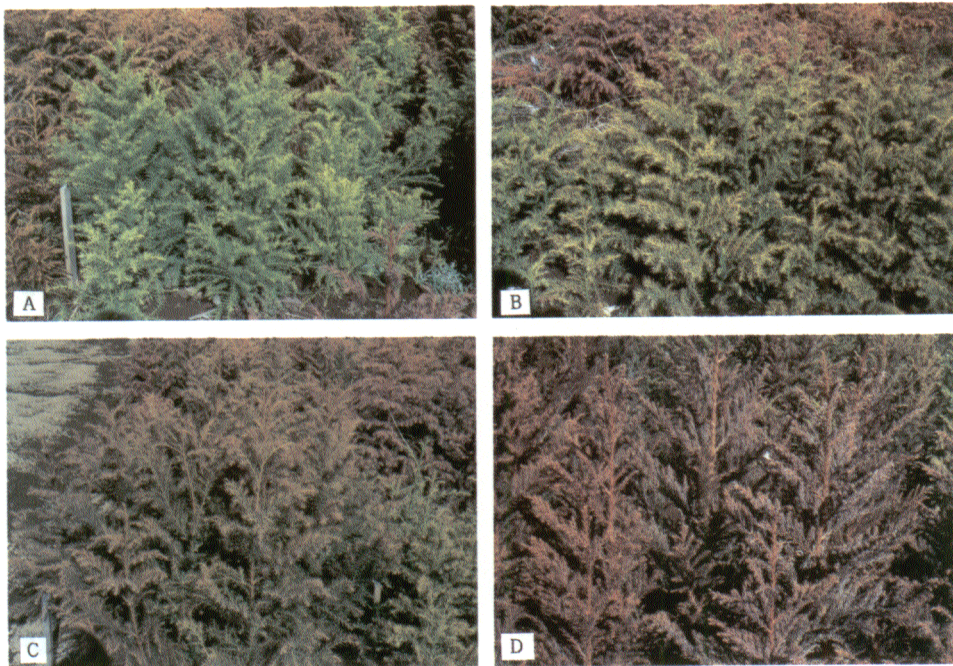


Photo 1. 交配家系苗における冬季の針葉色

Various types of needle color in the seedlings of selfed and crossed families of sugi in winter.

- A : ミドリスギ (Cr-323) の自家受粉家系におけるミドリ苗
Green seedlings in the selfed family of a green parent (Cr-323).
- B : 黄土スギ (Cr-330) の自家受粉家系の黄土苗
Yellow ochre seedlings derived from selfed family of a yellow ochre parent (Cr-330).
- C : アカスギ (Cr-100) の自家受粉家系におけるアカ苗
Red seedlings in the selfed family of a red parent (Cr-100).
- D : 黄土スギ (Cr-330) とミドリスギ (Cr-323) の交配家系における黄褐苗
Ocherous red seedlings in the family from crossing between a yellow ochre parent (Cr-330) and a green parent (Cr-323).