

受粉と結実の実験材料に関する基礎的研究 (3)

—トレンニアを用いた実験の条件検討—

泉 好弘・伊藤 竣・西岡 佳祐

The Basic Study on Experimental Materials of "Pollination and Fructification" (3)

— Requirement Study of the Experiments with *Torenia*—

IZUMI, Y., ITO, S. and NISHIOKA, K.

大分大学教育福祉科学部研究紀要 第37巻第3号

2016年3月 別刷

Reprinted From

THE RESEARCH BULLETIN OF THE FACULTY OF

EDUCATION AND WELFARE SCIENCE,

OITA UNIVERSITY

Vol. 37, No. 3, March 2016

OITA, JAPAN

受粉と結実の実験材料に関する基礎的研究 (3)

—トレニアを用いた実験の条件検討—

泉 好弘*・伊藤 竣**・西岡 佳祐***

【要 旨】 小学校5年理科の生物分野における受粉と結実に関する実験に適した材料を見つけるために、トレニアを用いて実験の条件検討を行った。トレニア・パイロニーの花弁がまったく見えていない蕾を除雄処理し、翌日に受粉させた花の結実率は92.6%だった。これはトレニア・パイロニーの人工授粉の成功率が非常に高いことを示している。トレニアは花の構造が特殊であるため、花の構造を調べる際の教材には適していないが、今回の研究で、トレニア・パイロニーは受粉と結実に関する実験の教材に適していることがわかった。

【キーワード】 受粉 結実 実験材料 トレニア

I はじめに

小学5年生の理科の生物分野では、植物の受粉と結実に関する観察と実験を通して有性生殖に関係する内容を学習することになっている¹⁾。植物の受粉と結実の関係について小学校学習指導要領解説では、「花粉をめしべの先に付けた場合と付けない場合で実のでき方を比較しながら調べ、結実するには受粉することが必要であることをとらえるようにする」とされており、実験材料については雄花と雌花のある植物を用いることが示されている¹⁾。そのため、ウリ科植物を用いて花の構造の観察と受粉と結実に関する実験を行うことが多くの教科書に記載されている。ウリ科植物は雌雄異花で大型の単性花をつけるため児童が実験しやすいことに加え、開花前に雄しべを取り除く作業（以下、除雄を呼ぶ）を行う必要がないため、受粉と結実の実験材料に適していると考えられてきた。しかしながら、渥美と笠原（2005）は、ウリ科植物は翌日開花するつぼみを識別することが難しいことや雄花に比べ雌花の出現数が少ないため予定した日時に必要な数の雌花が咲かないことがある等の理由で、カタバミの雄性不稔系統をウリ科植物に替わる実験材料として推奨した²⁾。また、前田と西野（2010）は、ファストプランツと呼ばれるアブラナ科植物の矮性変種を推奨している³⁾。両者とも両性花をつけるが、前者の花粉には稔性が無く、後者には自家不和性の性質があるため、除雄をする必要がない。これら

平成27年11月24日受理

*いずみ・よしひろ 大分大学教育福祉科学部理数教育講座（生物学）

**いとう・しゅん 大分大学教育福祉科学部学校教育課程教科教育コース理科選修

***にしおか・けいすけ 大分大学教育福祉科学部学校教育課程教科教育コース理科選修

の植物は両性花でありながら、除雄をせずに受粉と結実に関する実験ができるため、花の構造と受粉と結実に関する実験を行うための優れた材料だと考えられている。

大分県の多くの小学校で採用されている大日本図書の教科書では、アサガオを材料に用いて花の構造と受粉と結実に関する実験を行うように記載されている。受粉と結実の関係については、アサガオの花をルーペで観察して、雄しべの葯に大量の花粉があることと雄しべの柱頭に花粉が付着していることに気づき、「雄しべに花粉が付着することによって結実するのではないか」という仮説を立て、実験で確かめる、という流れになっている⁴⁾。アサガオの代わりにカタバミの雄性不稔系統やファストプランツを用い、除雄をせずに実験を行った場合には、同一の花の中で受粉が起こっても結実しないことを説明する必要が生じ、その説明をした時点で、通常は花粉が雌しべに付着することによって結実することを教えてしまうことになる。そのため、受粉と結実の関係についての学習がすべて終了した後、確認のために行う実験で使用するのであれば、これらの植物は有効な実験材料だと言えるが、花の観察から受粉と結実の関係についての仮説を導き、実験で確かめる際の材料としては適さないと考えられる。

アサガオは、大型の両性花をつけ、翌日開花するつぼみの識別が容易で、人工交雑の技術が確立しているため、受粉と結実に関する実験材料に適していると考えられる。しかしながら、泉ら(2012)は、アサガオを実験材料とした場合の問題点を検証し、9月中旬に実験を行った場合の人工授粉の成功率があまり高くないこと(約60%)や、9月の下旬になるとつぼみの数が減少し、実験を実施できなくなったことを報告している⁵⁾。受粉と結実に関する実験は、9月の下旬から実施される場合が多くなっているため、9月末まで実験可能で成功率が高い植物種を探す必要がある。

泉ら(2013)は、ペチュニアを用いて受粉と結実に関する実験を行うための条件検討を行い、9月中旬から10月中旬におけるペチュニアの結実率が非常に高いことを示した⁶⁾。しかしながら、猛暑期ではペチュニアの生育が悪くなるため、9月中旬以降の実験開始時期に合わせて状態のよい苗を入手することは難しい。そのため、容易に材料が準備できる植物種を見つけることが望ましいと考えられる。そこで今回の研究では、夏の暑さに非常に強いトレニアを材料として用い、受粉と結実に関する実験を行うための条件検討を行った。

II 材料および方法

材料

今回の実験には、トレニア・ピッコロ(*Torenia fournieri*, 以後ピッコロと呼ぶ)とトレニア・バイロニー(*T. baillonii*, 以後バイロニーと呼ぶ)と呼ばれる品種の種子(いずれもタキイ種苗)を材料として用いた。

水に浸して膨張させた種子まき用の土ポット(ジフィーセブン・42 mm, サカタのタネ)の上にそれらの種子をまいた。種子に直接水をかけると種子が流れてしまうため、土ポットをバットに並べ、土ポットの底が5~10 mm程度浸かるように水を入れ、水位が下がると水をつぎ足していった。種子まきから約1週間ですれらの種子は発芽し(図1A)、約2週間後に1回目の間引きを行った(図1B)。種子まきから2週間の間は室内の日の当たる場所で生育させた。それ以降は屋外に出し、1/10000の濃度に希釈したハイポネックス(ハイポネックスジャパン)を水のかわりに与えた。種子まきから3~4週間後に2度目の間引きを行い、ポット

内の苗を1本(図1C)にし、pH調整済み(6.0~6.5)の培養土を入れた鉢またはプランターに移植して栽培した。移植後は毎日水をやるのに加えて、1週間に1度、1/500に希釈したハイポネックス(ハイポネックスジャパン)を与えた。種子まきから3ヶ月程度で実験に使用可能な株に生長した(図1D)。茎が伸びすぎてしまった株については、実験の約1ヶ月前に切り戻しを行った(図1E~1G)。

除雄処理

パイロニーでは、がくから花弁が少し出ている蕾(図2A)、がくから花弁がほとんど出ない蕾(図2B)、がくから花弁がまったく出ない蕾(図2C)を除雄処理に用いた。一方、ピッコロでは、がくから花弁が少し出ている蕾(図3A)のみを除雄処理に用いた。

指でがく片を開いて(図3B)から花弁と雄しべを全て取り除いた(図3C~E)。袋を被せる際に邪魔になる蕾がある場合は取り除き(図3F)、処理を行った蕾にポリエチレンの袋を被せ、袋が外れないように袋の口を接木用のテープで止めた(図3G, H)。いずれの品種においても、除雄処理は240個の蕾に対して行われた。

受粉処理

開花している花から雌しべを採取し(図4A~C)で、除雄処理を行った花のポリエチレンの袋を外し(図4D, E)、雌しべの柱頭に雌しべの葯を押し当てて花粉を付着させた(図4F)。これに再びポリエチレンの袋を被せ(図4G)、袋の口を接木用のテープで固定した(図4H)。ピッコロの受粉処理は除雄処理の2日後に、処理された蕾の2/3に対して行い、その他の蕾は受粉させずに袋掛けを続けた。一方、パイロニーの受粉処理は除雄処理の1日後に、処理された蕾の1/2から2/3に対して行い、その他の蕾は受粉させずに袋掛けを続けた。

経過観察

除雄処理の8日後に袋を外し、子房を観察した。その後、約1週間おきに子房を観察し、結実の有無を確認した。

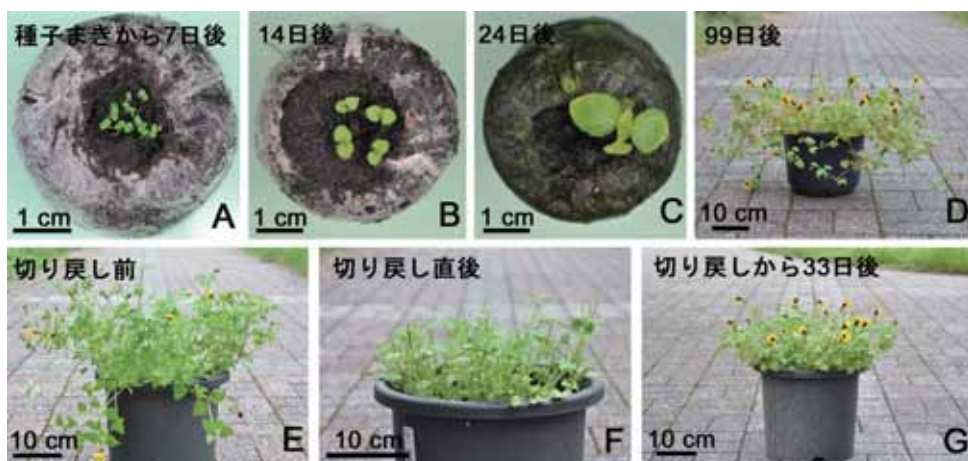


図1 トレニア・パイロニーの生長過程

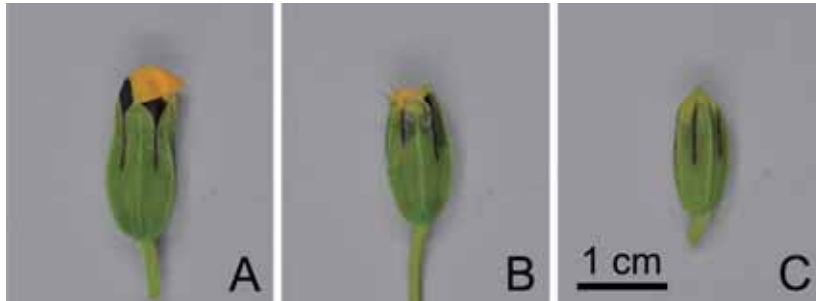


図2 除雄処理に用いたトレニア・バイロニーの蕾

- A : がくから花弁が少し出ている蕾
 B : がくから花弁がほとんど出していない蕾
 C : がくから花弁がまったく出していない蕾

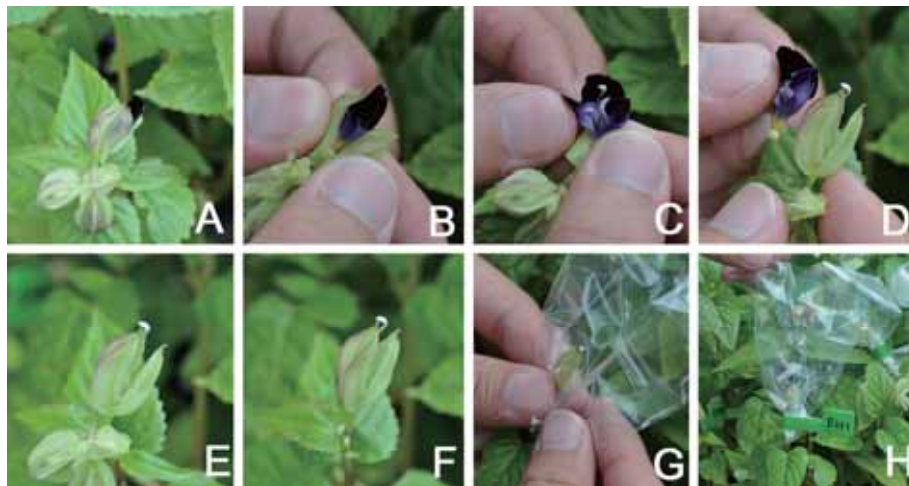


図3 除雄処理の過程（トレニア・ピッコロ）



図4 受粉処理の過程（トレニア・バイロニー）

Ⅲ 結果と考察

子房（果実）の生長

図5は、受粉処理を行ったピッコロの子房の変化を示したものである。受粉処理を行った花の子房は、除雄処理後2週間までは子房が肥大化していったが（図5A, B）、その後は子房の大きさに変化は見られなかった（図5C, D）。

図6は、受粉処理を行わなかったピッコロの子房の変化を示したものである。受粉処理を行わなかった花の子房は小さいままで、除雄処理後5週間で子房の色が茶色に変化し、枯死していることが確認された。

バイロニーでもほぼ同様の結果になったため、今回の実験では、除雄処理後2週間経過した時点で子房が大きく生長している場合を「結実した（結実）」、子房が大きくなっていない場合を「結実しなかった（非結実）」と判定した。

トレニア・ピッコロの結実率

表1は、9月第2週から10月第1週の間に行ったピッコロの実験結果を示している。9月第2週では、40個の花に受粉処理を行い、26個の花が結実し、9個の花が非結実、5個の花が行方不明であった。行方不明となった花を除いた場合の結実率は74.3%であった（以後、結実率は行方不明となった花を除いた場合の値で示す）。受粉処理を行った花の9月第3週、第4週、10月第1週の結実率はそれぞれ、89.7%、89.7%、82.9%だった。9月第2週の値が他と比べるとやや低くなっていたが、ライアンの検定法で比率の差の多重検定を行った結果、すべての結実率の間に有意差はなかった（ $\alpha = 0.05$ ）。

受粉処理を行わなかった花の結実率は9月第2週、第3週、10月第1週で0%だったが、9月第4週では2個の花が結実した（結実率は10.5%）。受粉処理を行わなかった花で、結実したものが生じる原因としては、袋掛けの期間が短すぎた可能性が考えられる。気温が低くなると、雌しべの受粉可能期間が長くなる場合が多く、9月下旬の袋掛け期間は、9月上旬の袋掛け期間よりも長くする必要がある場合がある。今回の実験では、処理された全ての花に対して除雄処理後8日間袋掛けを行ったが、9月第4週に処理された花でのみ受粉させずに結実したものが見られ、10月第1週に処理された花では同様の現象は見られなかったため、袋掛けの期間には問題はなかったと考えられる。また、除雄処理を行う花の成熟段階が不適切で、受粉処理を行う前に蕾の中で受粉が完了していた可能性も考えられ。しかしながら、今回の実験では全て同じ成熟段階の花を使用して、受粉させなかった花80個のうち、9月第4週に処理された2個の花でのみに結実したものが見られたため、除雄処理を行う花の成熟段階にも問題はなかったと考えられる。そのため、はっきりとした原因はわからないが、9月第4週に行った除雄処理の際に何らかの人為的ミスが発生した可能性が高いと思われる。

トレニア・バイロニーの結実率

表2は、バイロニーを用いた受粉実験の結果をまとめたものである。9月第2週に行った初期の実験では、がくから黄色の花弁が少し出ている蕾（図2A）を用いて除雄処理を行った。それらに受粉処理をした花の結実率は100%であった。一方、受粉させなかった花の結実率は70%だった。このように、バイロニーでは受粉させなかった花でも非常に高い頻度で結実が起

こった。このような結果となった原因としては、バイロニーが開花する前の蕾の中で自花受粉（自動同花送粉）を行っている可能性が考えられる。そのように仮定すると、がくから黄色の花弁が少し出ている蕾では、すでに受粉が完了しているものが多いと考えられる。そのため、より若い蕾を用いて除雄処理を行う必要があると推察された。

9月第3週に行った実験では、がくから花弁がほとんど出ていない蕾（図2B）を用いて除雄処理を行った。それらに受粉処理をした花の結実率は96.6%であった。一方、受粉させなかった花の結実率は24.1%であった。このように、より若い蕾を用いることによって、受粉させなかった花で結実が起こる頻度はかなり減少させることができた。しかしながら、受粉と結実の関係を理解しやすくするためには、受粉させなかった場合の結実率は0%である必要がある。そのため、さらに若い蕾を用いて除雄処理を行う必要があると推察された。

9月第4週と10月第1週に行った実験では、がくから花弁がまったく出ていない蕾（図2C）を用いて除雄処理を行った。それらに受粉処理をした花の結実率は92.6%であった。受粉させた場合の結実率は、より成長した蕾を用いた場合よりも若干低い値となったが、ライアンの検定法で比率の差の多重検定を行った結果、すべての結実率の間に有意差はなかった（ $\alpha = 0.05$ ）。がくから花弁がまったく出ていない蕾を除雄処理し、それらに受粉処理をした花の結実率は90%を超えており、人工授粉の成功率は十分に高いと考えられる。一方、受粉させなかった花の結実率は0%だった。これらの結果から、除雄処理にがくから花弁がまったく出ていない蕾を用いて除雄処理を行うことにより、受粉と結実の関係を理解しやすい結果が得られることがわかった。

受粉処理を行った場合のピッコロとバイロニーの結実率は両者ともに高い値を示したが、受粉処理を行わなかった場合では、バイロニーは蕾の成熟段階を適切に判断して除雄処理を行うことによって結実率を0%にすることができたのに対し、ピッコロでは原因不明の結実が発生した。また、ピッコロは花粉と柱頭の色がどちらも白色なのに対し（図7A, C）、バイロニーの柱頭は紫色をしており（図7B, D）、受粉の確認が容易に行えるという利点もある。これらのことから、バイロニーのほうがピッコロよりも受粉と結実に関する実験の材料に適していると考えられる。

トレニア・バイロニーの教材としての適性

泉ら（2013）はペチュニアを用いて受粉と結実に関する実験を行うための条件検討を行い、9月中旬から10月中旬におけるペチュニアの結実率が非常に高いこと示した⁶⁾。しかしながら、猛暑期ではペチュニアの生育が悪くなるため、9月中旬以降の実験開始時期に合わせて状態のよい苗を入手することは難しい。一方、トレニア・バイロニーは夏の暑さに非常に強く、8月に切り戻しを行っても1ヶ月程度で元の状態に戻るため、4月下旬から6月上旬の間に種子まきを行い、必要に応じて切り戻しを行うことによって、実験に適した株を9月に用意することができる。トレニア・バイロニーの種子は非常に小さいため、移植用の小さな苗を育てるまでの過程が難しいが、ジフィーセブン（サカタのタネ）を用いることで比較的容易に苗を育てることができる。また、約2ヶ月間種子まきが可能であるため、初期の段階で失敗してもやり直すことができる。そのため、トレニア・バイロニーは園芸の初心者にも扱いやすい植物だと考えられる。このように、トレニア・バイロニーは実験に用いる株の栽培が容易で、9月における人工授粉の成功率も非常に高いため、受粉と結実に関する実験の材料としてペチュニアより

も適していると考えられる。

今回の研究で、トレニア・バイロニーは受粉と結実に関する実験の教材に適していることがわかった。しかしながら、問題点も存在する。図8はトレニア・ピッコロの花の構造を示している。トレニア属植物の雄しべは花糸の1/2程度が花弁と合着しており、花弁から雄しべが生えているように見える。さらに2本の雄しべの葯が合着しており、花の構造が特殊なものとなっている。小学5年生の理科では、最初に花の構造を調べ、その際に雌しべの柱頭に花粉が付着していることに気づき、花粉が雌しべの柱頭に付着することによって結実が起こるのではないかと仮説を立て、実験で確かめるといった流れになっている。前述のように、トレニアは花の構造が特殊であるため、花の構造を調べる際の教材には適していない。花の構造を調べる際にはアサガオを材料に用い、受粉と結実に関する実験ではトレニア・バイロニーを材料に用いることでこの問題を回避することも可能であるが、花の構造が一般的で、9月下旬における人工授粉の成功率が高い植物を見つけることが望ましいと思われる。



図5 受粉処理を行った花の子房の変化（トレニア・ピッコロ）

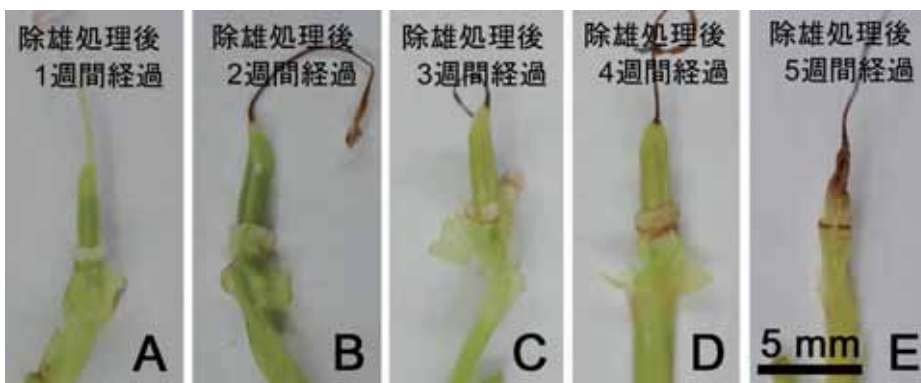


図6 受粉処理を行わなかった花の子房の変化（トレニア・ピッコロ）

表1 トレニア・ピッコロの受粉実験の結果

受粉処理を行った時期		花の数 (%, %)	
		受粉処理をした花 (花粉をつけた花)	受粉処理をしなかった花 (花粉をつけなかった花)
9月第2週	結実	26 (65.0, 74.3)	0 (0.0, 0.0)
	非結実	9 (22.5, 25.7)	18 (90.0, 100.0)
	不明	5 (12.5, -)	2 (10.0, -)
	計	40 (100.0, 100.0)	20 (100.0, 100.0)
9月第3週	結実	35 (87.5, 89.7)	0 (0.0, 0.0)
	非結実	4 (10.0, 10.3)	18 (90.0, 100.0)
	不明	1 (2.5, -)	2 (10.0, -)
	計	40 (100.0, 100.0)	20 (100.0, 100.0)
9月第4週	結実	35 (87.5, 89.7)	2 (10.0, 10.5)
	非結実	4 (10.0, 10.3)	17 (85.0, 89.5)
	不明	1 (2.5, -)	1 (5.0, -)
	計	40 (100.0, 100.0)	20 (100.0, 100.0)
10月第1週	結実	29 (72.5, 82.9)	0 (0.0, 0.0)
	非結実	6 (15.0, 17.1)	15 (75.0, 100.0)
	不明	5 (12.5, -)	5 (25.0, -)
	計	40 (100.0, 100.0)	20 (100.0, 100.0)
合計	結実	125 (78.1, 84.5)	2 (2.5, 2.9)
	非結実	23 (14.4, 15.5)	68 (85.0, 97.1)
	不明	12 (7.5, -)	10 (12.5, -)
	計	160 (100.0, 100.0)	80 (100.0, 100.0)

*不明（折れたものも含む）となった花の数を除いた場合の割合（%）

表2 トレニア・バイロニーの受粉実験の結果

除雄処理をした 蕾の状態		花の数 (%, %)	
		受粉処理をした花 (花粉をつけた花)	受粉処理をしなかった花 (花粉をつけなかった花)
がくから花弁が 少し出ている	結実	39 (97.5, 100.0)	14 (70.0, 70.0)
	非結実	0 (0.0, 0.0)	6 (30.0, 30.0)
	不明	1 (2.5, -)	0 (0.0, -)
	計	40 (100.0, 100.0)	20 (100.0, 100.0)
がくから花弁が ほとんど出ていない	結実	28 (93.3, 96.6)	7 (23.3, 24.1)
	非結実	1 (3.3, 3.4)	22 (73.3, 75.9)
	不明	1 (3.3, -)	1 (3.3, -)
	計	30 (100.0, 100.0)	30 (100.0, 100.0)
がくから花弁が まったく出ていない	結実	50 (83.3, 92.6)	0 (0.0, 0.0)
	非結実	4 (6.7, 7.4)	54 (90.0, 100.0)
	不明	6 (10.0, -)	6 (10.0, -)
	計	60 (100.0, 100.0)	60 (100.0, 100.0)
合計	結実	117 (90.0, 95.9)	21 (19.1, 20.4)
	非結実	5 (3.8, 4.1)	82 (74.5, 79.6)
	不明	8 (6.2, -)	7 (6.4, -)
	計	130 (100.0, 100.0)	110 (100.0, 100.0)

*不明（折れたものも含む）となった花の数を除いた場合の割合（%）

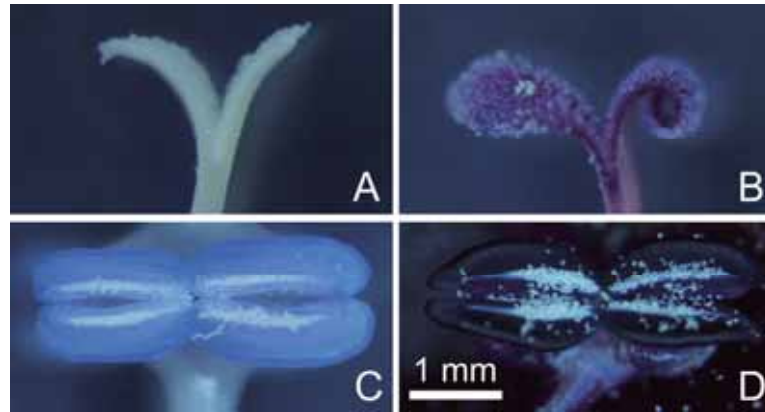


図7 トレニア・ピッコロとトレニア・パイロニーの柱頭と葯

- A: トレニア・ピッコロの柱頭
- B: トレニア・パイロニーの柱頭
- C: トレニア・ピッコロの葯
- D: トレニア・パイロニーの葯

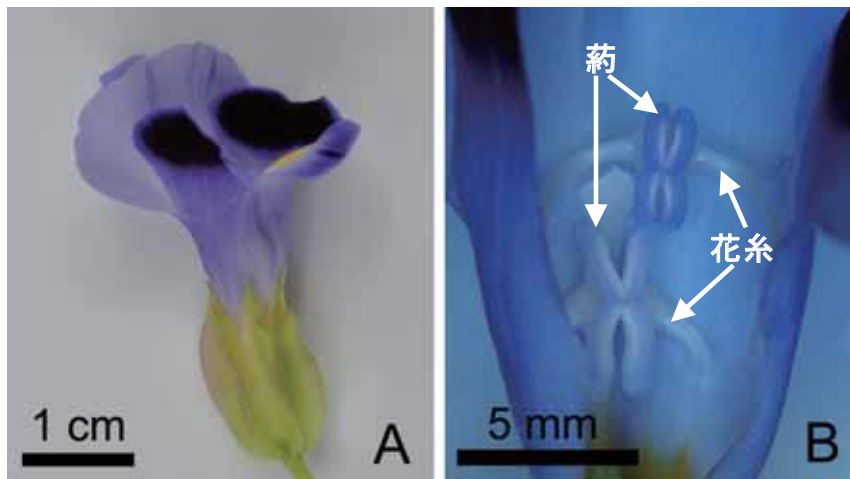


図8 トレニア・ピッコロの花の構造

- A: トレニア・ピッコロの花
- B: トレニア・ピッコロの雄しべ

引用文献

- 1) 文部科学省 2008. 小学校学習指導要領解説 理科編.
- 2) 渥美茂明, 笠原恵 2007. 受粉と結実の観察教材「カボチャ」に替わる教材の提案 ―雄性不稔植物の教材化― 兵庫教育大学教科教育学会紀要 20, 9-16.
- 3) 前田紗綾香, 西野英昭 2010. ファストプランツの小学校・中学校でのマルチ教材としての活用性に関する研究 科学教育研究 34, 2-12.
- 4) 有馬ほか 43名 2008. たのしい理科 5年-1 大日本図書.
- 5) 泉好弘, 赤星恵弥, 田中沙耶香 2012. 受粉と結実の実験材料に関する基礎的研究 (1) ―アサガオを用いた実験の検証― 大分大学教育福祉科学部附属教育実践総合センター紀要 30, 109-114.
- 6) 泉好弘, 赤星恵弥, 田中沙耶香 2013. 受粉と結実の実験材料に関する基礎的研究 (2) ―ペチュニアを用いた実験の予備的研究― 大分大学教育福祉科学部附属教育実践総合センター紀要 31, 165-171.

The Basic Study on Experimental Materials for "Pollination and Fructification" (3)

―Requirement Study of the Experiments with *Torenia*―

IZUMI, Y., ITO, S. and NISHIOKA, K.

Abstract

To find plant materials which are suitable for an experiment of "pollination and fructification", we carried out a study of requirements for experiments with *Torenia*. The fructification rate of *T. baillonii* which was pollinated in late September was 92.6%. This result indicates that *T. baillonii* have a very high success rate of artificial pollination. In this study, it was indicated that *T. baillonii* is a good plant material for the experiment of "pollination and fructification".

【Key words】 Pollination, Fructification, Plant materials, *Torenia*