

原 著

兵庫県宝塚市西谷地区における準絶滅危惧種スズサイコ *Vincetoxicum pycnostelma* Kitag.の繁殖特性及び訪花昆虫相

京都大学大学院農学研究科

中 濱 直 之

神戸大学大学院人間発達環境学研究科

丑 丸 敦 史

京都大学大学院農学研究科

井 鷲 裕 司

Reproductive traits and flower visitors fauna of *Vincetoxicum pycnostelma* Kitag. in Nishitani area of Takarazuka City, Hyogo Prefecture. Naoyuki Nakahama (*Graduate School of Agriculture, Kyoto University*), Atsushi Ushimaru (*Graduate school of Human Development and Environment, Kobe University*) and Yuji Isagi (*Graduate School of Agriculture, Kyoto University*)

We examined the mating system and flower-visitor fauna of *Vincetoxicum pycnostelma* Kitag. in the Nishitani area of Takarazuka City, Hyogo Prefecture. The results of hand pollination experiment indicated that *V. pycnostelma* is self-incompatible and that resource and weak pollinator limitation causes low fruit sets (4.9%) in the field. Twenty-two moth species and one mosquito species were recorded as flower visitors. Four small-sized and one medium-sized moth species carried *V. pycnostelma* pollinarium on their bodies, suggesting that they are pollinators of *V. pycnostelma*. The facts that most pollinators were common species and that *V. pycnostelma* did not suffer from strong pollinator limitation together suggest that recent declines of *V. pycnostelma* populations have been caused by habitat destruction rather than pollinator declines under human impacts.

Keywords: Flower visitors, Rare plants, Resource limitation, Self-incompatibility, *Vincetoxicum pycnostelma*

要旨：スズサイコ *Vincetoxicum pycnostelma* Kitag. は日本国内では半自然草原に生育する多年生草本である。本研究では兵庫県宝塚市西谷地区に生育するスズサイコ集団を用いて本種の繁殖特性及び訪花昆虫相を明らかにし、観察された訪花昆虫各種がスズサイコの繁殖に与える影響について議論した。調査地におけるスズサイコの自然条件下での結果率は4.9%と非常に低い値であった。交配実験により繁殖様式を調査した結果、スズサイコは自家不和合性であることに加え、果実生産に資源制限及び弱い送粉者制限がかかっていることが明らかとなった。スズサイコの訪花昆虫については2目8科23種が確認され、そのうち花粉塊体が付着していた個体は1目2科5種だった。観察された訪花昆虫のうち開張50mm以下の鱗翅目小型及び中型蛾類については、体表に花粉塊体が付着していたこと、及び柱頭室に口吻を挿入するなど送粉者として適切な行動をとっていた個体が観察されたことから、スズサイコの主要な送粉者であると考えられる。今回観察された訪花昆虫はいずれも広域分布種であり、送粉者制限による果実生産への影響も小さかった。そのため送粉者の減少がスズサイコの主要な減少要因となっている可能性は小さく、従来のリスク評価は妥当なものであろう。

キーワード：訪花昆虫、希少植物、資源制限、自家不和合性、スズサイコ

はじめに

虫媒は被子植物で最も多く見られる送粉様式である(菊沢, 1995)。虫媒植物にとって花粉を運ぶ昆虫種がいなくなった(送粉者制限が起きた)場合、種子繁殖による集団の維持は困難になると考えられている。実際に、送粉者制限による種子生産の減少は多く報告されている(鷲谷・矢原, 1996)。例えば、埼玉県田島ヶ原に自生するサクラソウ *Primula sieboldii* E.Morren 集団では、送粉者であるトラマルハナバチ *Bombus* (*Diversobombus*) *diversus diversus* Smith の女王バチの訪花が観察されずサクラソウの結実が非常に少なくなってしまった結果、将来的に集団の遺伝的多様性の維持が難しくなることが危惧されている(Washitani et al., 1991, 1994; Washitani, 1996)。

一方で、レッドデータブック(環境庁, 2000)では、日本国内における被子植物の主な減少要因として送粉者の減少・喪失を含む「生物間相互作用(主に相利共生)の低下・喪失」は「減少要因」リストに取り上げられていない。近年、我が国の絶滅のおそれのある野生生物の保全に関する点検とりまとめ報告書(URL:http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=19532&hou_id=15012 2012.3.参照)においては新たに「生物間相互作用の低下・喪失」が減少要因として加えられたが、本要因が減少の主要因であるとした植物の例は全く取り上げられていない。このように希少植物の保全を考える際に送粉者の減少・喪失に対する社会的認知度は低いのが現状である。

スズサイコ *Vincetoxicum pycnostelma* Kitag. は東アジアに広く分布し、日本では半自然草原に生育する多年生草本である(北村ほか, 1957)。本種は環境省レッドリスト(2012b)において準絶滅危惧種(NT)に選定され、またレッドデータブッ

ク近畿研究会(2001)においても絶滅危惧種Cに選定されている。本種の主な減少要因は自然遷移、草地開発及び管理放棄とされている(環境庁, 2000)。一方で、野外での果実形成が稀であることが報告されており(Nakahama et al., 2013)、送粉者制限が減少を促進している可能性も考えられる。本種が属するキョウチクトウ科ガガイモ亜科植物は、花粉塊や肉柱体副花冠といった特有の花形態を持つことから(Endress, 1994)、送粉に関して多くの研究がなされてきた(Lumer & Yost, 1995; Wyatt & Bloyles, 1994; Sugiura & Yamazaki, 2005; Wolff et al., 2008)。スズサイコでは鱗翅目及び双翅目昆虫が送粉者として確認されている(Yamashiro et al., 2008; Nakahama et al., 2013)が、いずれも観察時間が短く、各昆虫種の詳細な訪花行動は明らかにされていない。また、野外での非常に低い結果率について、自家不和合性による受精制限もしくは資源制限に起因する可能性が指摘されているが(Nakahama et al., 2013)、その検証は行われていない。さらに、交配実験による送粉者制限の有無の検証もされていない。そこで本研究では、保全上の基礎情報を得るため、長期観察に基づいたスズサイコの訪花昆虫相の解明及び各昆虫の訪花頻度及び訪花行動の詳細な観察を行うことで本種に有効な送粉者を記述すること、交配実験により自家不和合性の確認と送粉者・資源制限の有無の確認を行うことを目的とした。また、今回の結果から、近年のスズサイコの減少に送粉者が影響していないかについて考察を行った。

材料と方法

調査地

調査は兵庫県宝塚市西谷地区(北緯34度53分, 東経135度12分)に位置している約0.5haの非整備

棚田畦畔で実施した。スズサイコは本調査地においておよそ200株が複数の棚田畦畔に沿って生育し、調査地周辺においても小規模な集団を複数形成していた。

交配実験及び結果率調査

2012年6月から7月にかけて、調査地に生育するスズサイコの花に対して以下の4つの処理区を設定し、結果率を比較した。

1. 強制他家受粉区（開花前に袋掛けを施し、開花後に他株の花粉塊を人工授粉）
2. 強制自家受粉区（開花前に袋掛け、開花後に自株の花粉塊を人工授粉）
3. 袋掛け区（開花前に袋掛け、人工授粉なし）
4. 放任区

各処理区につき、それぞれ25株のスズサイコの花を用い、1株あたり1花序（5－6花）を袋掛け試験に使用した。強制他家受粉に用いた花粉塊は、近縁個体間の受粉を避けるために人工授粉した株からそれぞれおよそ20m離れた株の花より採集して用いた。強制自家受粉に用いた花粉塊は、実験処理を施した株で開花している別の花より採集して用いた。実験処理後、受精に成功した花は子房が残存したが、何らかの理由で受精に失敗した花は子房含め全ての花器官が落下した。残存した子房は全て成長するわけではなく、長さ約5mmの未成長果実も観察された。そこで、開花期後、落下せず残存した子房の数と、結果数を計測した。各実験区の結果数から、花あたりの子房残存率（子房が残った花の割合）及び結果率、さらに子房残存花序率（子房が残った花序の割合）及び結果花序率（結果した花序の割合）を算出した。なお、放任区の結果率を自然状態下での結果率とした。処理区間における子房残存率及び結果率、また子房残存率及び結果花序率の比較にはフィッシャーの正確確率検定を用いた。

実験中に草刈りなどの要因で地上部が失われた株を除いた結果、強制他家受粉区では24株140花、強制自家受粉区では23株138花、袋掛け区では24株144花、放任区では24株144花から得られたデータを解析に供した。

訪花昆虫調査

2012年6月25日から8月7日にかけて、およそ週に1回の頻度で計7回、スズサイコの訪花昆虫を調査した。先行研究から、スズサイコは日中花弁を閉じて夜間に開花し、訪花昆虫の大部分は夜行性の昆虫であることが明らかになっている（Nakahama et al., 2013）。なお、スズサイコは降雨時間中には日中も咲いていたが、6月25日の16時から18時30分（16時から17時30分まで降雨あり）まで予備的な観察をしたところ、訪花昆虫は確認されなかった。したがって本研究では夜間に訪花者の採集とデジタルカメラ（Pentax, Optio W30）によるインターバル撮影を実施した。

見つけ採りは各調査日の19時から21時30分まで、スズサイコ開花株のうち15－30株を観察し、7日間で計17.5時間、花に着地し柱頭室に口吻を挿入していた昆虫をできる限り採集した。採集した訪花昆虫は日本産蛾類大図鑑（井上ほか, 1982）に基づいて同定した。また、採集した個体については実体顕微鏡を用いて観察し、スズサイコの花粉塊体の付着の有無を確認した。

インターバル撮影は各調査日の19時30分に開始し、スズサイコの花に訪花する昆虫を10秒に1回の頻度で1時間から2時間程度、7日間でのべ89.5時間撮影した。デジタルカメラは1日あたり5－10台設置した。撮影した写真から訪花頻度及び各昆虫の訪花行動を分類した。ガガイモ亜科 *Vincetoxicum* 属植物の場合、主に訪花昆虫の口吻に花粉塊体を付着させて送粉が行われることが観察されているが、花粉塊体が訪花昆虫の脚に付着

している例も観察されている (Lumer & Yost, 1995; Yamashiro et al., 2008; Nakahama et al., 2013)。本研究では、昆虫の訪花行動を「花への接近」「花への着地」「口吻の挿入」「蜜をなめる」の4つに区分した。なお、訪花昆虫の脚の柱頭室への挿入行動の有無はデジタルカメラ撮影による判別が難しいため、観察から除外した。さらに、各昆虫の撮影枚数から、花における滞在時間を算出した。デジタルカメラによる撮影開始以前から訪花していた昆虫や撮影終了後も花に滞在していた昆虫は滞在時間が不明であるため、滞在時間の計算から除外した。

花粉塊体持ち去り率及び受粉率調査

2012年7月5日にスズサイコ20花序144花を採集し、研究室に持ち帰り、花を一つずつ解剖した。スズサイコの各花が持つ5つの花粉塊体のうち少なくとも1つが訪花昆虫によって持ち去られていた花の割合を花粉塊体持ち去り率として計算した。また、花粉管の伸長した花粉塊が柱頭室に見られた花を受粉が完了した花とし、受粉した花の割合を受粉率として計算した。

結果

交配実験及び結果率

強制他家受粉区では花あたりの子房残存率は25.7%であった一方、結果率は11.4%だった(図1)。子房残存花序率は62.5%，結果花序率は58.3%だった。株あたりの果実数はいずれも1個及び2個で、3個以上の子房が果実に成長した株は見られなかった。強制自家受粉区及び袋掛け区においては、全ての花が開花後落下し、残存した子房、果実形成ともに全く見られなかった。放任区では子房残存率6.3%で、結果率4.9%であった。フィッシャーの正確確率検定の結果、花あたりの子房残

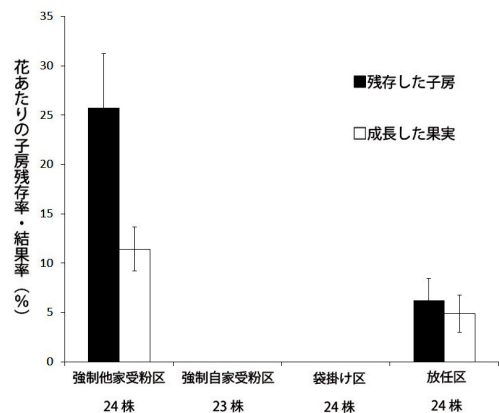


図1. 各実験区での花あたりの子房残存率（開花後、子房が残存した花の割合）及び結果率（成長した果実をつけた花の割合）。

存率には強制他家受粉区と放任区間で有意差が見られた ($p < 0.001$) 一方、花あたりの結果率には両処理区間で有意傾向 ($p = 0.051$) が見られた。放任区の子房残存花序率29.2%，結果花序率は25.0%であり、どちらも強制他家受粉区よりも有意に半分以下であった（子房残存花序率， $p = 0.041$ ；結果花序率， $p = 0.039$ ）。

訪花昆虫相

スズサイコの訪花昆虫は2目8科23種88個体採集され、そのうち花粉塊体が口吻や脚に付着した昆虫は1目2科5種6個体だった(表1)。採集された昆虫は鱗翅目小型蛾類(開張30mm以下)の個体数が最も多く77個体だった。一方、鱗翅目中型蛾類(開張30–50mm)は3個体、大型蛾類(開張50mm以上)は1個体で訪花は非常に少なかった。双翅目はシナハマダラカ *Anopheles (Anopheles) sinensis* Wiedemannのみ7個体採集した。なお、スズサイコや他のガガイモ亜科 *Vincetoxicum* 属植物では訪花昆虫の体の一部が柱頭室に挟まれて動けず死亡する例が知られているが (Yamashiro et al., 2008; Nakahama et al.,

表 1. 兵庫県宝塚市西谷地区におけるスズサイコの訪花昆虫相（無印は小型種，*は中型種，**は大型種を表す）。

目名	Order name	科名	Family name	種名	Species name	平均開張 (mm)	採集 個体数	花粉塊付着 個体数
鱗翅目	シャクガ科	Geometridae		ウスクロテンヒメシャク	<i>Idaea salutaria</i> (Christoph)	18.2	1	0
				キナミシロヒメシャク	<i>Scopula superior</i> (Butler)	20.6	1	0
	スズメガ科	Sphingidae		コスズメ	<i>Theretra japonica</i> (Boisduval)	**59.4	1	0
				アヤナミノメイガ	<i>Eurrhparodes accessalis</i> (Walker)	18.1	7	1
	ツトガ科	Crambidae		イネコムズメイガ	<i>Paraponyx vittalis</i> (Bremer)	13.7	1	0
				クロモンキノメイガ	<i>Udea testacea</i> (Butler)	16.1	3	0
				シロアヤヒメノメイガ	<i>Diasemia reticularis</i> (Linnaeus)	14.6	10	1
				シロテンウスグロノメイガ	<i>Bradina atopalis</i> (Walker)	17.3	3	0
				シロマダラノメイガ	<i>Glyphodes</i> sp.	19.1	1	0
				ツトガ	<i>Ancylolomia japonica</i> Zeller	*30.3	1	0
				ホソミスジノメイガ	<i>Pleuroptya chlorophanta</i> (Butler)	16.6	1	0
	トリバガ科	Pterophoridae		マエウスモンキノメイガ	<i>Paliga ochrealis</i> (Wileman)	28.2	1	0
				<i>Hellinsia</i> 属の一種	<i>Hellinsia</i> sp.	13.0	1	0
	ハマキガ科	Tortricidae		ヒメハマキガ亜科の一種	<i>Olethreutinae</i> gen. sp.	8.8	2	0
				ウラジロキノメイガ	<i>Uresiphita gracilis</i> (Butler)	20.1	1	0
	メイガ科	Pyralidae		キモントガリメイガ	<i>Endotricha kuznetzovi</i> Whalley	13.2	9	0
				モモノハマキマダラメイガ	<i>Psorosa taishanella</i> Roesler	15.5	1	0
				アシブトクチバ	<i>Parallelia stuposa</i> (Fabricius)	*45.2	2	2
				<i>Schrankia</i> 属の一種	<i>Schrankia</i> sp.	13.2	23	0
	ヤガ科	Noctuidae		テンオビヨトウ	<i>Sesamia turpis</i> (Butler)	22.9	1	1
				テンクロアツバ	<i>Rivula sericealis</i> (Scopoli)	13.4	9	0
				ホシコヤガ	<i>Ozarba punctigera</i> Walker	18.6	1	1
双翅目	Diptera	カ科	Culicidae	シナハマダラカ	<i>Anopheles (Anopheles) sinensis</i> Wiedemann	8.2	7	0
						合計	88	6

2013), 本研究においてそのような個体は観察されなかった。

花粉塊体が付着していた個体は鱗翅目小型蛾類 77個体のうち 4 個体 (5.2%) であり, いずれも口吻に花粉塊体が付着していた。同様に鱗翅目中型蛾類 3 個体のうち 2 個体 (66.7%) でも花粉塊体の付着が観察され, いずれも脚に付着していた。鱗翅目大型蛾類及び双翅目では花粉塊体が付着していた個体は観察されなかった。

訪花頻度及び行動

インターバル撮影の結果, 103個体の昆虫が観察された。鱗翅目昆虫は小型蛾類（開張30mm以下）と中型蛾類（開張30－50mm）が観察された（図 2）。双翅目昆虫は糸角亜目及び短角亜目の昆虫が観察されたが, いずれも体長10mm以下の小型種のみだった。

訪花頻度は双翅目糸角亜目が最も高く, 次いで鱗翅目小型蛾類, 中型蛾類, 双翅目短角亜目となっ



図 2. スズサイコに訪花する鱗翅目および双翅目昆虫。

た（表 2）。双翅目糸角亜目及び鱗翅目小型蛾類は訪花時に80%以上の個体が柱頭室へ口吻を挿入し, 鱗翅目中型蛾類においても62.5%の個体が柱頭室へ口吻を挿入していた（表 2）。双翅目短角亜目はいずれも口吻が短く, 花に着地した際に蜜をなめる程度にとどまっていた。

表 2. 各訪花昆虫の訪花行動.

訪花昆虫	訪花 個体数	訪花行動(頭)				平均訪花 時間(秒)
		接近	着花	口吻挿入	蜜をなめる	
鱗翅目小型蛾類	35		6	29		810.0
鱗翅目小型蛾類	8	1	2	5		306.7
双翅目糸角亜目	57	3	8	46		448.7
双翅目短角亜目	3				3	150.0
合計	103	4	16	80	3	

訪花時の滞在時間は鱗翅目小型蛾類が最も長く、次いで双翅目糸角亜目、鱗翅目中型蛾類、双翅目短角亜目となった(表 2)。

花粉塊体持ち去り率及び受粉率

採集した144花から合計134花粉塊体が持ち去られ、少なくとも1つの花粉塊体が持ち去られたのは80花(花粉塊体持ち去り率は55.6%)だった。また、合計22花粉塊体が柱頭室に挿入されており、少なくとも1つの花粉塊体が受粉していたのは19花(受粉率は13.2%)だった。

考察

自生地での低い結果率をもたらす要因

ガガイモ亜科植物は*Asclepias*属において多くの種で自家不和合性であることが知られている(Wyatt & Broyles, 1994)。他の属においても、自家不和合性を示す種が報告されているものの(Lipow & Wyatt 1998; Shuttleworth & Johnson, 2006), *Tylophora*属及び*Vincetoxicum*属などで自殖をおこなう種も知られている(Lumer & Yost, 1995; Yamashiro & Maki, 2006)。今回、交配実験において袋掛け区及び強制自家受粉区では果実形成が見られなかったことから、スズサイコは自家不和合性であることが示された。

強制他家受粉区において、離れた位置に生育する個体を花粉親としたにもかかわらず、子房残存率は25.7%にとどまった。さらに結果率は子房残存率の半分以下であり(図 1)、1株あたりの果

実数はいずれも2つ以下であった。スズサイコは草丈が40–100cmしかない一方、果実は長さ5–8 cmと、植物体に比べ果実の大きさは非常に大きく(北村ほか, 1957)、繁殖コスト(cost of reproduction)が大きい(受精した花全てを果実まで成長させた場合、全ての果実に十分な栄養を投資できなかったり、翌年の栄養成長に悪影響が出る)可能性がある。本研究において、株あたりの最大果実生産をしていると仮定される強制他家受粉区でも非常に低い結果率が見られたことによって、資源制限による選択的な中絶の存在が示唆された。

さらに、顕花植物において結果数が花数を下回る現象の至近要因として資源制限に加えて送粉の不足による花粉制限が知られている(菊沢, 1995)。本研究では多数の訪花昆虫が観察され、花あたりの受粉率も強制他家受粉区における花あたりの結果率をわずかに上回っていたことから送粉された花粉塊はスズサイコの最大果実生産量に必要な数を満たすものの、放任区の子房残存率・結果率は強制他家受粉区と比べ低かった。花粉塊のうち自株由来の花粉塊が混合していた場合、自家花粉塊では自家不和合性により果実を形成できないために結果率は低下する。本研究においても受粉していた花粉塊の一部が自株由来だったために、結果率が受粉率と比べ低くなったのであろう。また、放任区の子房残存率及び結果花序率は強制他家受粉区に比べ有意に低かった。このことから野外において訪花昆虫による訪花がされなかった、もしくは訪花した際に正常な送粉が行われなかった花序が複数存在していた可能性が考えられる。

このようにスズサイコでは、資源制限に加え、送粉者の不足により受粉制限(送粉者制限)、さらに送粉者の隣花受粉による他株由来花粉塊の制限(受精制限)によって結果率が低くなったと考えられる。しかしながらガガイモ亜科植物の結果率

は、*Asclepias*属植物では0.3–5.0% (Wyatt & Broyles, 1990), ガガイモ *Metaplexis japonica* (Thunb.) Makinoでは0.03–0.1% (Sugiura & Yamazaki, 2005), また、スズサイコでは2.3% (Nakahama et al., 2013) といずれも低いことが知られている。本研究におけるスズサイコ集団の結果率はこれらの先行研究と比べて高く、調査地において送粉者制限による影響はそれほど大きくないのかもしれない。

訪花昆虫相及び訪花行動

鱗翅目のうち開張30mm以下の小型蛾類の訪花頻度は高く、同時に多くの個体で花の空隙に口吻を挿入する行動が見られたものの、実際に花粉塊体が付着していた個体は少数であった。一方、開張30–50mmの中型蛾類の訪花頻度及び訪花時に口吻を挿入する行動をとった個体の割合は小型蛾類に比べて非常に低かったものの、花粉塊体が付着していた個体の割合は高い結果となった。Nakahama et al. (2013) は、スズサイコの送粉に鱗翅目小型蛾類が重要な機能を担っている可能性を指摘したが、鱗翅目中型蛾類は小型蛾類と比べ訪花頻度が低いものの送粉効率はより高く、送粉者として重要な機能を担っていることが考えられる。

また、花粉塊体の付着が見られた個体について、小型蛾類ではすべて口吻に、中型蛾類ではすべて脚に付着していた。ガガイモ亜科植物はガガイモ *Metaplexis japonica* (Thunb.) Makinoなど送粉者が口吻に花粉塊体を付着させる種 (Sugiura & Yamazaki, 2005; Kunze, 1991) と同様に *Sarcostemma clausm* (Jacq.) Schult. や *S. viminale* (Linn.) L.Br. など送粉者が脚に花粉塊体を付着させる種も知られている (Kunze & Liede, 1991; Liede & Whitehead, 1991)。スズサイコでは、送粉者によって花粉塊体を付着させる部位が異なっ

ている可能性が示唆された。

一方、双翅目昆虫はいずれも体長10mm以下の小型種で、体表に花粉塊体の付着した個体は観察されなかった。既知のスズサイコの訪花昆虫のうち、双翅目小型種は宮城県仙台市において体表に花粉塊体の付着したアカイエカ *Culex pipens* Coquillett が1頭のみ観察されている (Yamashiro et al., 2008) が、一般的に小型の双翅目昆虫は体が小さいことから花粉塊体を付着させることが難しく、花粉塊を運ぶ機会が非常に少ないと考えられる。一方、宮城県仙台市及び愛知県新城市において鱗翅目昆虫の他に双翅目ガガンボ科ヒメガガンボ科昆虫 *Limonia* sp. のスズサイコへの訪花がそれぞれ2種及び1種確認され、いずれの種も花粉塊体が付着した個体が確認されている (Yamashiro et al., 2008)。本研究においてガガンボ科昆虫など双翅目大型種の訪花は観察できなかったが、このような双翅目大型種は比較的容易に花粉塊を運ぶことが可能であるため、送粉者として働く可能性も十分に考えられるだろう。

スズサイコの減少要因

今回観察された訪花昆虫種の大部分を占める鱗翅目昆虫種の多くが北海道から九州まで分布する広域分布種であり (井上ほか, 1982), 訪花が確認された昆虫のうち環境省レッドリスト (2012a) 及び兵庫県レッドデータブック (2003) に記載されている種はいなかった。さらに、花粉塊体が付着していた昆虫5種のうちアシブトクチバ *Parallelia stuposa* (Fabricius) (寄主植物: ザクロ, サルスベリ), シロアヤヒメノメイガ *Diasemia reticularis* (Linnaeus) (寄主植物: オオバコ, コウゾリナ), ホシコヤガ *Ozarba punctigera* Walker (寄主植物: キツネノマゴ) の3種でこれまでに寄主植物が知られている (井上ほか, 1982)。上記の寄主植物はいずれも栽培種, もしくは野外で

普通に見られる植物であることから、生息地周囲の植生の変化により本種の送粉者が急激に減少する危険は小さいと考えられる。また送粉者制限の程度は強くないと考えられることから、送粉者制限による果実生産の減少がスズサイコの主要な減少要因となっている可能性は低く、生息地環境の変化が減少の主要因であるとする従来のリスク評価は妥当なものであろう。したがって、スズサイコの保全を検討する際、送粉者相への配慮よりも本種の生育環境の確保が優先されるべきであると考えられる。

謝辞

本稿を執筆するにあたり、ご指導、ご助言を賜った京都大学の山崎理正博士には厚く御礼申し上げます。伊東あずさ氏、伊藤拓也氏、坂田ゆず氏、田下直人氏（京都大学）、永田優子氏（福井県）、日下石碧氏（神戸大学）には調査にあたり大変お世話になった。今住悦昌氏（宝塚市）には私有地における調査を快く許可くださった。ここに深く感謝の意を表す。なお、本研究の一部は関西自然保護機構による研究助成の支援のもと実施された。

引用文献

Endress, P. K. 1994. 87 Gentianales Asteridae, 872 Evolutionary steps towards the asclepiad flowers. In: Diversity and evolutionary biology of tropical flowers, pp. 302-319. Cambridge University Press, Cambridge.

井上 寛・杉 繁郎・黒子 浩・森内 茂・川辺 湛・大和田守. 1982. 日本産蛾類大図鑑, 966 pp. 講談社, 東京.

兵庫県. 2003. 改訂・兵庫の貴重な自然－兵庫県

版レッドデータブック2003. 382pp. (財) ひょうご環境創造協会, 神戸.

環境庁自然環境局野生生物課 (編). 2000. 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物 8 植物 I (維管束植物). 16-21+515pp. (財) 自然環境研究センター, 東京.

—— (編). 2012a. 第4次レッドリスト付属説明資料 昆虫類. 22pp. 環境省自然保護局野生生物課, 東京.

—— (編). 2012b. 第4次レッドリスト付属説明資料 植物 I (維管束植物). 15pp. 環境省自然保護局野生生物課, 東京.

菊沢喜八郎. 1995. 花・受粉の生態学. 「植物の繁殖生態学」, pp. 13-68. 蒼樹書房, 東京.

北村四郎・村田 源・堀 勝. 1957. スズサイコ. 「原色日本植物図鑑草本編 (1)」, pp. 206-207. 保育社, 大阪.

Kunze, H. 1991. Structure and function in asclepiad pollination. *Plant Systematics and Evolution*, 176 : 227-253.

—— & S. Liede. 1991. Observations on pollination in *Sarcostemma* (Asclepiadaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 178 : 95-105.

Liede, S. & V. Whitehead. 1991. Studies in the pollination biology of *Sarcostemma viminalis* R. BR. sensu lato (Asclepiadaceae). *South African Journal of Botany*, 57 : 115-122.

Lipow, R. S. & R. Wyatt. 1998. Reproductive biology and breeding system of *Gonolobus suberosus* (Asclepiadaceae). *Journal of the Torrey Botanical Society*, 125(3) : 183-193.

Lumer, C. & S. Yost. 1995. The reproductive biology of *Vincetoxicum nigrum* (L.) Moench (Asclepiadaceae), a Mediterranean weed in New York State. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 122(1) : 15-23.

- Nakahama, N., R. Miura & T. Tominaga. 2013. Preliminary observations of insect visitation to flowers of *Vincetoxicum pycnostelma*. (Apocynaceae: Asclepiadoideae), an endangered species in Japan. Journal of Entomological Science, 48(2) : 151-160.
- レッドデータブック近畿研究会. 2001. 改訂・近畿地方の保護上重要な植物—レッドデータブック近畿2001. 125pp. (財) 平岡環境科学研究所, 川崎.
- Shuttleworth, A. & S. D. Johnson. 2006. Specialized pollination by large spider-hunting wasps and self-incompatibility in the African milkweed *Pachycarpus asperifolius*. International Journal of Plant Sciences, 167(6) : 1177-1186.
- Sugiura, S. & K. Yamazaki. 2005. Moth pollination of *Metaplexis japonica* (Apocynaceae): pollinaria transfer on the tip of the proboscis. Journal of Plant Research, 118 : 257-262.
- 鷺谷いづみ・矢原徹一. 1996. 生物多様性を脅かす景観の変容. 「保全生態学入門—遺伝子から景観まで」, pp. 195-209. 文一総合出版, 東京.
- Washitani, I. 1996. Predicted genetics consequences of strong fertility selection due to pollinator loss in an isolated population of *Primula sieboldii*. Conservation Biology, 10 : 59-64.
- , R. Namai & M. Niwa. 1991. Species biology of *Primula sieboldii* for the conservation of its lowland-habitat population I. Inter-clonal variations in the flowering phenology, pollen load and female fertility components. Plant Species Biology, 6 : 27-37.
- , M. Kato, J. Nishihira & K. Suzuki. 1994. Importance of queen bumble bees as pollinators facilitating inter-morph crossing in *Primula sieboldii*. Plant Species Biology, 9 : 169-176.
- Wolff D., U. Meve & S. Liede-Schumann. 2008. Pollination ecology of Ecuadorian Asclepiadoideae (Apocynaceae): How generalized are morphologically specialized flowers?. Basic and Applied Ecology, 9 : 24-34.
- Wyatt, R. & S. Broyles. 1990. Reproductive biology of milkweeds (*Asclepias*): recent advances. In: Biological approaches and evolutionary trends in plants: (ed. Kawano, S.), pp. 255-272. Academic Press, London.
- & —— . 1994. Ecology and evolution of reproduction in milkweeds. The Annual Review of Ecology, Evolution, 25 : 423-441.
- Yamashiro, T., A. Yamashiro, J. Yokoyama & M. Maki. 2008. Morphological aspects and phylogenetic analysis of pollination systems in the *Typhora-Vincetoxicum* complex (Apocynaceae - Asclepiadoideae) in Japan. Biological Journal of the Linnean Society, 93 : 325-341.
- & M. Maki. 2006. A comparative study of the reproductive character and genetic diversity of autogamous *Tylophora matsu-murae* and its progenitors *Tylophora tanakae* (Apocynaceae-Asclepiadoideae). Plant Systematics and Evolution, 256 : 55-67.