

## Biological features of rare species of Iridaceae Juss. Family in flora of Uzbekistan *ex situ*

M.D. Turgunov<sup>1</sup>, V.P. Pechenitsyn<sup>1\*</sup>, N.Yu. Beshko<sup>2</sup>, A.I. Uralov<sup>1</sup>, D.A. Abdullaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent Botanical Garden at the Institute of Botany  
Bogishamol St., 232, Tashkent, 100053, Uzbekistan

E-mail: [anandroma@mail.ru](mailto:anandroma@mail.ru)

<sup>2</sup>Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Institute of Botany  
Durmon Yuli St., 32, Tashkent, 100125, Uzbekistan

E-mail: [botany@academy.uz](mailto:botany@academy.uz)

---

Features of generative and vegetative reproduction of six rare species of Iridaceae listed in the Red Data Book of the Republic of Uzbekistan (2009) (*Crocus alatavicus*, *Gladiolus italicus*, *Juno hippolyti*, *J. orchioides*, *J. svetlanae* and *J. magnifica*) were studied under conditions of introduction in the Tashkent Botanical garden. It was shown that species with a wide range (*Crocus alatavicus*, *Gladiolus italicus*, *Juno orchioides*) were the most labile, less labile - species with a narrow range (*Juno magnifica*) and endemics of Uzbekistan (*J. hippolyti* and *J. svetlanae*).

**Key words:** *ex situ*, geophytes; generative and vegetative propagation; threatened species; *Crocus*; *Gladiolus*; *Juno*

---

## Биологические особенности редких видов семейства Iridaceae Juss. флоры Узбекистана в условиях *ex situ*

М.Д. Тургунов<sup>1</sup>, В.П. Печеницын<sup>1\*</sup>, Н.Ю. Бешко<sup>2</sup>, А.И. Уралов<sup>1</sup>, Д.А. Абдуллаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Академия Наук Республики Узбекистан, Ташкентский Ботанический сад при Институте ботаники  
ул. Богишамол, д. 232, г. Ташкент, 100053, Узбекистан,

E-mail: [anandroma@mail.ru](mailto:anandroma@mail.ru)

<sup>2</sup>Академия Наук Республики Узбекистан, Институт ботаники  
ул. Дурмон йули, д. 32, г. Ташкент, 100125, Узбекистан

E-mail: [botany@academy.uz](mailto:botany@academy.uz)

---

В условиях интродукции в Ташкентском Ботаническом саду изучены особенности семенного и вегетативного размножения 6 редких видов сем. Iridaceae, занесенных в Красную книгу Республики Узбекистан (2009) (*Crocus alatavicus*, *Gladiolus italicus*, *Juno hippolyti*, *J. magnifica*, *J. orchioides* и *J. svetlanae*). Показано, что наиболее лабильными оказались имеющие широкий ареал виды (*Crocus alatavicus*, *Gladiolus italicus*, *Juno orchioides*), менее лабильными – виды с узким ареалом (*Juno magnifica*) и эндемики Узбекистана (*J. hippolyti* и *J. svetlanae*).

**Ключевые слова:** геофиты; редкие виды; семенное и вегетативное размножение; *ex situ*; *Crocus*; *Gladiolus*; *Juno*

---

## Введение

Развитие промышленности и сельского хозяйства, активное освоение природных территорий приводят к нарушению экологического равновесия, катастрофическому сокращению ареалов и численности многих дикорастущих видов. Сохранение генофонда редких и исчезающих растений – глобальная проблема, активно разрабатываемая во всех регионах Земного шара (Olonova et al., 2010; Li et al., 2015; Mligo, 2015; Sitpayeva, 2015; Park et al., 2018).

В то время как ведущая роль в охране природных популяций и местообитаний редких видов принадлежит заповедникам и другим охраняемым природным территориям, огромная работа по сохранению *ex situ* ведется в ботанических садах (Demidov, Potarova, 2013; Rossi et al., 2014; Mounce et al., 2017). В частности, в ботанических садах России в настоящее время выращивается 303 из 474 (63,9 %) видов сосудистых растений, включенных в Красную книгу Российской Федерации (Gorbunov et al., 2015).

Флора Узбекистана насчитывает более 4400 видов высших сосудистых растений, многие из них находятся на грани исчезновения. В национальную Красную книгу (The Red data book, 2009) внесен 321 редкий вид. В связи с этим сохранение и воспроизводство редких и исчезающих видов растений флоры Узбекистана как *in situ*, так и *ex situ* является актуальной проблемой. Важнейшая роль в сохранении *ex situ* эндемичных и редких видов природной флоры Узбекистана принадлежит Ташкентскому Ботаническому саду, который был создан в 1950 г.

Во «Флоре Узбекистана» (Vvedensky, 1941) приведено 30 видов семейства Iridaceae. По современным данным, с учетом недавно описанных таксонов (Khassanov et al., 2013; Tojibaev et al., 2014; Tojibaev, Turginov, 2014) на территории страны произрастает 47 видов данного семейства, из них семь включены в Красную книгу Узбекистана (The Red data book, 2009).

## Материалы и методы исследований

В своей работе мы, вслед за многими авторами (Vvedensky, 1941; Rodionenko, 1994, Sikura I., Sikura A. 2006; Crespo et al, 2015) придерживаемся родовой самостоятельности юнон.

Объектом исследования являлись 6 редких видов сем. Iridaceae, внесенные в Красную книгу Узбекистана (The Red data book., 2009), коллекция которых воссоздана заново и в настоящее время сохраняется в Ташкентском Ботаническом саду:

Семейство Iridaceae Juss.

Род *Crocus* L.

1. *Crocus alatavicus* Regel & Semen. (рис. 1). Эндемик Западного Тянь-Шаня (Казахстан, Кыргызстан, Узбекистан). Распространение в Узбекистане: хребты Пскемский, Угамский, Чаткальский, Кураминский. Клубнелуковичный геофит. Встречается спорадически, как единичными экземплярами, так и довольно многочисленными популяциями. Размножение семенное и вегетативное. Статус 3.

Род *Gladiolus* L.

2. *Gladiolus italicus* Mill. (рис. 2). Ареал вида охватывает Средиземноморье, Южную Европу, Крым, Кавказ, Малую Азию, юг Средней Азии, Иран, Ирак, Афганистан, Аравию и Северную Африку (The IUCN Red List of Threatened Species, 2013). В Средней Азии вид распространен на территории Узбекистана, Таджикистана и Туркменистана в Западном и Южном Памиро-Алае, Бадхызе и Копет-Даге. В Узбекистане отмечен на Гиссарском хребте, Байсунских горах, Кугитанге. Клубнелуковичный геофит. Встречается редко, спорадически, единичными особями и группами. Размножение семенное и вегетативное. Статус 1.

Род *Juno* Tratt.

3. *Juno hippolyti* Vved. (рис. 3). Эндемик Узбекистана, узлокальный эндемик останцовых низкогорий Кызылкума (Кокчатау). Луковичный геофит. Размножение семенное и вегетативное. Статус 1. Впервые интродуцирован в Ботанический сад.

4. *J. magnifica* Vved. (рис. 4). Эндемик Западного Памиро-Алая. Западная часть Зеравшанского хребта (Узбекистан, Таджикистан). Луковичный геофит. Встречается небольшими группами, иногда популяциями по несколько сотен растений. Размножение семенное и вегетативное. Статус 1.

5. *J. orchioides* (Carr.) Vved. (рис. 5). Эндемик Западного Тянь-Шаня (Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан, Узбекистан). Распространение в Узбекистане: хребты Кураминский, Чаткальский, Каржантау, Пскемский. Луковичный геофит. Размножение семенное и вегетативное. Статус 2.

6. *J. svetlanae* Vved. (рис. 6). Эндемик Западного Памиро-Алая, эндемик Узбекистана. Западная часть Зеравшанского и Гиссарского хребтов. Луковичный геофит. Размножение семенное. Статус 1.

Исследования проводятся с 2010 г. по настоящее время как в природных условиях, так и на интродуцированных в Ботанический сад растениях. Материал собирали в экспедиционных выездах весной в период цветения и летом во время созревания плодов. Отмечали экологические особенности естественных местообитаний растений, проводили морфометрические измерения (высота растений, число, длина и ширина листьев, число и расположение цветков и плодов). При морфометрическом изучении у видов *Juno* измеряли параметры нижнего листа, у *C. alatavicus* и *G. italicus* – наибольшего листа. Собранные семена, луковички и клубнелуковички переносили в условия Сада, где выращивались в неполивных условиях при минимальном уходе.

Почвенно-климатические условия Ботанического сада подробно описаны в работе I. V. Belolipov (1989). Сад расположен в северо-восточной части Ташкента на высоте 480 м над ур.м. Почва – древнеорошаемый типичный серозем. Климат Ташкента – резко континентальный, отличается сухостью, значительными суточными колебаниями температур, жарким летом, сухой теплой осенью и умеренно холодной зимой. Абсолютный минимум температуры составляет ...-25,8 °С, абсолютный максимум –...+44,6 °С. Зима непродолжительная, обычно мягкая, с короткими заморозками и частыми оттепелями. Снежный покров обычно неустойчив и образуется за зиму несколько раз. Нередки вегетационные зимы.

Весна обычно наступает во второй половине февраля – начале марта и характеризуется крайне неустойчивой погодой. Дата самого позднего весеннего заморозка 13.05. Среднегодовая относительная влажность воздуха 59 %, в июле снижается до 22 %.

Лето наступает с середины мая, продолжительное, крайне засушливое, знойное, погода устойчивая, облачность невелика, осадки выпадают редко и верхние горизонты почвы быстро иссушаются. Среднемесячная температура самого жаркого месяца (июль) ...+28,8 °С. Осень теплая, сухая с обилием солнечных дней. Осадки начинают выпадать в конце сентября, и погода постепенно принимает неустойчивый характер. Самый ранний осенний заморозок 24.09. Длительность безморозного периода – 218 дней, засушливого периода – 186 дней, сухого – 144 дня. Среднегодовая сумма осадков 420 мм, основная часть которых выпадает в зимне-весенний период.

Видовую принадлежность определяли по «Флоре Узбекистана» (Vvedensky, 1941). Статистическую обработку материала проводили с использованием общепринятых критериев (Lakin, 1990). Работа проводилась в 2010–2018 гг. в лаборатории интродукции древесных и травянистых растений Ташкентского Ботанического сада при Институте ботаники АН РУз.



Рис. 1. *Crocus alatavicus*



Рис. 2. *Gladiolus italicus*



Рис. 3. *Juno hippolyti*



Рис. 4. *Juno magnifica*

Рис. 5. *Juno orchioides*Рис. 6. *Juno svetlanae*

## Результаты и их обсуждение

По ритму развития все изучаемые виды — эфемероиды, начинающие вегетацию весной или даже зимой, и заканчивающие ее с наступлением жаркого летнего периода; длительность вегетации 2,5–5 месяцев.

По началу цветения изученные виды можно условно разделить на следующие группы:

- очень раноцветущие – зацветают в январе-феврале (*C. alatavicus*);
- раноцветущие – начало цветения приходится на март месяц (*J. orchioides*);
- среднецветущие – зацветают в первой половине апреля (*J. hippolyti*, *J. magnifica*, *J. svetlanae*);
- поздноцветущие – цветение происходит в мае (*Gladiolus italicus*).

В условиях интродукции у клубнелуковичных видов увеличиваются размеры клубнелуковиц. У *G. italicus* это приводит к активизации 1-2 пазушных почек, увеличению высоты растений, размеров листьев, числа цветков, плодов и семян на генеративном побеге (табл. 1).

Table 1. The dependence of biomorphological parameters of *Gladiolus italicus* depending on the diameter of planted bulbotubers

Таблица 1. Зависимость биоморфологических показателей *Gladiolus italicus* в зависимости от диаметра высаженных клубнелуковиц

Показатели	Диаметр клубнелуковиц, см	
	1,5-2 (n=7)	2,1-2,5 (n=6)
Высота растения	54,0 ± 2,73	<u>69,2 ± 3,83</u>
Число листьев	4,0 ± 0,0	4,0 ± 0,0
Длина листа	41,9 ± 2,35	<u>54,7 ± 1,38</u>
Ширина листа	1,0 ± 0,07	<u>1,3 ± 0,11</u>
Число цветков	7,9 ± 0,86	<u>12,2 ± 1,14</u>
Число плодов	6,1 ± 0,77	<u>10,2 ± 1,19</u>
Число семян на растении	85,3 ± 12,61	<u>149,7 ± 22,41</u>

Примечание: подчеркнуты значения, достоверно отличающиеся от результатов группы с диаметром клубнелуковиц 1,5–2 см ( $P < 0,05$ ).

У *C. alatavicus* морфометрические показатели остаются без видимых изменений (табл. 2), но на более крупных клубнелуковицах активизируются до 3 пазушных почек с образованием 1-2 генеративных побегов. Это приводит к увеличению числа сформировавшихся семян и размеров клона.

Редкие виды *Juno* реагируют на условия интродукции различно. У *J. orchioides*, *J. svetlanae* и *J. Hippolyti* увеличивается высота растений, ширина нижнего листа и число цветков. Первые два вида стабильно плодоносят, тогда как у *J. hippolyti* плоды не завязываются.

У *J. magnifica* растения в культуре уступают природным по всем показателям, но, тем не менее, они регулярно плодоносят и образуют достаточное число семян.

Как видно из таблицы 2, виды с многоцветковыми соцветиями образуют в 7–10 раз больше семян, чем виды, образующие не более 3 цветков.

Лимитирующими факторами для плодоношения являются засушливая осень или весна. Отсутствие осадков в эти периоды приводит к резкому снижению числа цветущих особей и завязываемости плодов как в год вегетации, так и на следующий год. В условиях интродукции для предотвращения негативного влияния недостатка осадков крайне необходим полив.

Table 2. Morphometric indicators of the studied species in natural conditions and with the introduction  
 Таблица 2. Морфометрические показатели изученных видов в природных условиях и при интродукции

Виды	Высота растения, см		Ширина нижнего листа, см		Число цветков		Максимальное число семян на побеге в Бот. саду
	Природа	Бот. сад	Природа	Бот. сад	Природа	Бот. сад	
<i>Crocus alatavicus</i>	-	-	0,15-0,2	0,15-0,2	1-4	1-3	19
<i>Gladiolus italicus</i> <sup>*)</sup>	40-70	47-78	0,8-1,3	0,8-1,5	6-10	5-15	195
<i>Juno hippolyti</i>	10-15	20-27	1,0-1,5	3,0-3,9	1-2	1-3	-
<i>J. magnifica</i>	21-90	36-46	1,7-7,7	3,4-5,7	2-12	2-9	188
<i>J. orchioides</i>	9-28	12-23	0,5-3,4	1,1-3,8	1-5	1-6	146
<i>J. svetlanae</i>	15-18	15-28	1,3-1,8	1,6-4,1	1-2	1-4	24

<sup>\*)</sup> данные в природе приведены по А. И. Vvedensky (1941).

Другой лимитирующий фактор – сильные (ниже -5 °С) весенние заморозки, приводящие к гибели цветков и завязей растений, которые находятся в фазе цветения. Для сохранения урожая цветущие особи необходимо укрывать. При изучении особенностей семенного размножения установлено, что при осеннем посеве семена *C. alatavicus* и *G. italicus* дружно (до 70 %) всходят весной следующего года. Семена видов *Juno* характеризуются растянутым прорастанием в течение 3-4 лет, при этом нередко в первый год они вообще не всходят. Сеянцы всех видов зацветают на 4-5-й год.

Изученные виды различаются также по способам и интенсивности вегетативного размножения. У *C. alatavicus* крупные клубнелуковицы образуют до трех дочерних клубнелуковиц, которые в свою очередь также способны к размножению. Для ускорения размножения генеративные особи необходимо рассаживать каждые два года.

У *G. italicus* вегетативное размножение происходит как при помощи дочерних клубнелуковиц, так и при помощи деток, которые образуются у основания материнской клубнелуковицы. Будучи оставленными на месте, детки прорастают очень незначительно (10-15 %), остальные погибают. При выкопке и рассаживании прорастают до 70 % деток. Генеративного состояния растения достигают на 3-4-й год.

Виды *Juno* размножаются при помощи дочерних луковиц. Наибольшее число растений в трехлетних клонах насчитывается у *J. orchioides* – до 9 особей, у остальных видов – не более двух. Нередко дочерние растения зацветают и плодоносят уже в год своего образования.

Все изученные виды являются вегетативно неподвижными или малоподвижными (*G. italicus*) растениями, в связи с чем вегетативное размножение у них служит в основном для увеличения реальной семенной продуктивности клона.

Таким образом, результаты многолетних исследований показали, что при переносе редких видов в условия *ex situ* наиболее лабильными оказались виды с широким ареалом, обитающие не только в Узбекистане, но и в сопредельных регионах – *G. italicus* (обитает от Европы до Ирана), *C. alatavicus* и *J. orchioides* (обитают во многих хребтах Западного Тянь-Шаня). У этих видов в условиях интродукции возрастают показатели как вегетативной (размеры и число листьев, высота растений, способность к вегетативному размножению) так и генеративной (число цветков в соцветии, реальная семенная продуктивность генеративного побега) сферы. В результате даже при небольшом числе исходных растений через 3-4 года можно получать достаточно семян для массового размножения каждого вида.

Меньшая лабильность свойственна видам *Juno* с узким ареалом и эндемикам Узбекистана. У *J. magnifica* в культуре все показатели уступают природным, но, тем не менее, благодаря высокому коэффициенту семенной продуктивности на генеративном побеге образуется до 180 семян.

Растения эндемиков Узбекистана *J. svetlanae* и *J. hippolyti* в условиях *ex situ* развиваются более мощными, чем в природе, но при этом у первого вида наблюдается очень низкая завязываемость плодов и низкий коэффициент семенной продуктивности, тогда как второй вид вообще не плодоносит. Наиболее вероятная причина этого – высокая температура и низкая относительная влажность воздуха в Ташкенте по сравнению с природными условиями обитания.

В целом полученные результаты являются научным обоснованием возможности массового выращивания посадочного материала для реинтродукции редких видов в места естественного произрастания.

## Благодарности

Исследования выполнены в рамках государственных фундаментальных проектов Ф5-ФА -0-12154 «Интродукционная оценка и биология семенного размножения новых перспективных видов декоративных и лекарственных растений» (2012-2016) и ВА-ФА-Ф-5-008 «Научные основы сохранения генофонда редких эндемичных видов флоры Узбекистана *ex situ* и биология их размножения» (2017-2020).

## References

- Belolipov, I. V. (1989). The introduction of herbaceous plants of the natural flora of Central Asia [Introduktsiya travyanistykh rasteniy prirodnoy flory Sredney Azii]. Tashkent: FAN (in Russian).
- Crespo, M. B., Martinez-Azorin, M., Mavrod, E. V. (2015). Can a rainbow consist of a single colour? A new comprehensive generic arrangement of the 'Iris sensu latissimo' clade (Iridaceae), congruent with morphology and molecular data. *Phytotaxa*, 232(1), 1-78. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.232.1.1>
- Demidov, A. S., Potapova, S. A. (2011). The solution of the strategic tasks of the botanical gardens of Russia in the field of plant biodiversity conservation at the present stage. In: *Botanicheskiye sady v sovremennom mire: teoreticheskiye i prikladnyye issledovaniya. Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii* [Botanical gardens in the modern world: theoretical and applied research. Materials of the All-Russian Scientific Conference.] Moscow: Fellowship of scientific publications KMK, 3-5 (in Russian).
- Gladiolus italicus*. (2013). In: *The IUCN Red List of Threatened Species*: e.T18990775A44502078. URL: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-2.RLTS.T18990775A44502078>.
- Gorbunov, Yu. N., Shvetsov, A. N., Shatko, V. G. (2015). The role of the botanical gardens of Russia in the preservation of the gene pool of rare and endangered plants. *Bulletin Main Botanical Garden*, 201(2), 94-103 (in Russian).
- Khassanov, F. O., Khuzhanazarov, U., Rakhimova, N., Esankulov, A., Achilova, N. (2013). Two new species of *Iris* L. (Iridaceae Juss.) from Uzbekistan. *Stapfia*, 99, 1-3.
- Lakin, G. F. (1990). *Biometriya* [Biometrics]. Moscow: Higher school (in Russian)
- Li, R., Yu, H., Li, H., Kraft, N. J. B. (2015). Seed plant phylogenetic diversity and species richness in conservation planning within a global biodiversity hotspot in Eastern Asia. *Conservation Biology*, 29(6), 1552-1562. <https://doi.org/10.1111/cobi.12586>
- Mligo, C. (2015). Future habitat loss and the conservation of plant biodiversity. *International journal of Biodiversity and Conservation*, 7(3), 148-172. <https://doi.org/10.5897/IJBC2014.0771>
- Mounce, R., Brockington, S., Smith, P. (2017). Ex situ conservation of plant diversity in the world's botanic gardens. *Nature Plants*, 3(10), 795-802. <https://doi.org/10.1038/s41477-017-0019-3>
- Olonova, M. V., Zhang D. Y., Duan S. M., Yin L. K., Pan B. R. (2010). Rare and endangered plant species of the Chinese Altai mountains. *Journal of Arid Land*, 2(3), 222-230. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1227.2010.00222>
- Park, J.H., Kang, H.S., Bang M., Cheng, H.C., Jin, H.Y., Ahn, T.H., Bounithiphonh, C., Phongoudome, C. (2018). Floristic inventory of vascular plant in Nam Ha national biodiversity conservation area, Lao people's democratic republic. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 11(2), 300-304. <https://doi.org/10.1016/j.japb.2018.02.005>
- Rodionenko, G. I. (1994). The genus *Juno*. *Bot. zhurnal*, 79(9), 100-108 (in Russian).
- Romanov, A. A., Koroleva, E. G., Dikareva, T. V. (2017). Nature conservation integration of species and ecosystem monitoring for selecting priority areas for biodiversity conservation: case studies from the palearctic of Russia. *Nature Conservation*, 22, 191-218. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.22.10711>
- Rossi, G., Orsenigo, S., Maharjan, S. R., Verza, G. P., Mondoni, A., Dhital, D., Shrestha, S., Shrestha, B. B., Bhujju, D. R., Panthi, S., Pokharel, Y. R. (2014). Ex situ plant conservation initiative in developing country: Nepal as a case study. *Plant Biosystems*, 148(3), 565-569. <https://doi.org/10.1080/11263504.2014.900129>
- Sikura, I. I., Sikura, A. I. (2006). The genus *Juno* Tratt. (Iridaceae) [Под Juno Tratt. (Iridaceae)]. Kiev, 2006 (in Russian).
- Sitpayeva, G. (2015). Study and preservation of wild relatives of cultivated plants of the northern Tien Shan (within Kazakhstan). *American Journal of Environmental Protection*, 4(3-1), 130-135. <https://doi.org/10.11648/j.ajep.s.2015040301.30>
- The Red data book of the Republic of Uzbekistan. (2009). Tashkent: Chinor ENK (in Russian).
- Tojibaev, K.Sh., Karimov, F.I., Turgunov, M.D. (2014). New species *Iris* L. (Iridaceae Juss) from the Fergana valley. *Turczaninowia*, 17(4), 12-16. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.17.4.2> (in Russian).
- Tojibaev, Sh. K., Turgunov, O. (2014). A new species and a new combination of *Iris* subgenus *Scorpiris* (Iridaceae) from Central Asia (Hissar range, Pamir-Alai). *Phytotaxa*, 158(3), 224-228. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.158.3.2>
- Vvedensky, A.I. (1941). Iridaceae. In: *Flora Uzbekistana* [Flora Uzbekistanica]. The Publishing house of the Academy of Sciences UzSSR, Tashkent, 1, 502-520 (in Russian).

### Citation:

Turgunov, M.D., Pechenitsyn, V.P., Beshko, N.Yu., Uralov, A.I., Abdullaev, D.A. (2019). Biological features of rare species of the family Iridaceae Juss. flora of Uzbekistan in ex situ. *Acta Biologica Sibirica*, 5 (2), 17-22.

**Submitted:** 10.03.2018. **Accepted:** 19.05.2019

**crossref** <http://dx.doi.org/10.14258/abs.v5.i2.5926>



© 2019 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).