

Jens Flade<sup>1, 2</sup>, Heidrun Beschow<sup>1</sup>, Andreas Plescher<sup>2</sup>, Wim Wätjen<sup>1</sup>

## Pyrrrolizidinalkaloide in *Senecio vulgaris* L. in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium unter Betrachtung verschiedener Jahreszeiten

Pyrrrolizidine alkaloids in *Senecio vulgaris* L. depending on development stage and season

### Zusammenfassung

Das Gewöhnliche Greiskraut (*Senecio vulgaris* L.) wird aufgrund seiner toxischen Inhaltsstoffe (Pyrrrolizidinalkaloide, PAs) und seines enormen Verbreitungspotentials in landwirtschaftlichen Sonderkulturen als problematisch eingestuft (ROBINSON et al., 2003; BFR, 2007; WIEDENFELD, 2011; WIEDENFELD und EDGAR, 2011). Die vorliegende Untersuchung hatte daher zum Ziel in Parzellenfreilandversuchen die Wachstumsparameter von *Senecio vulgaris* und den Gehalt von verschiedenen PAs hinsichtlich ontogenetischer Unterschiede zu verschiedenen Jahreszeiten zu untersuchen.

Wie bereits für andere *Senecio*-Arten gezeigt, wird auch in *Senecio vulgaris* der PA-Gehalt (PA-Gesamtsumme, tertiäre PAs und PA-*N*-oxide) je nach Jahreszeit durch das Entwicklungsstadium beeinflusst. Allgemein zeigt sich eine Tendenz, dass die PA-Konzentration bis zur Vollblüte ansteigt und nachfolgend zur Frucht- und Samenreife wieder abnimmt. Von den *N*-oxiden wurden jeweils höhere Gehalte als von den entsprechenden tertiären PAs gefunden. Die Einzelverbindungen werden in ihrer Konzentration unterschiedlich beeinflusst; während einige PAs zu jeder Jahreszeit ontogenetisch verändert wurden (Retrorsin-*N*-oxid, Senecionin), konnte dieses für Senecivernin-*N*-oxid nicht nachgewiesen werden.

**Stichwörter:** Pyrrrolizidinalkaloide, *Senecio vulgaris* L., Ontogenese, Jahreszeit, pflanzliche Naturstofftoxine

### Abstract

The common groundsel (*Senecio vulgaris* L.) is a harmful weed because of its toxic compounds (pyrrrolizidine alkaloids, PAs) and its enormous distribution potential in agricultural and horticultural crops (ROBINSON et al., 2003; BFR, 2007; WIEDENFELD, 2011; WIEDENFELD und EDGAR, 2011). During different seasons and in plot-field experiments we have examined the growth parameters and the amount of different PAs of *Senecio vulgaris* L. related to ontogenetic differences.

As already shown for other *Senecio* species, the PA content in *Senecio vulgaris* (PAs total, tertiary PAs and PA-*N*-oxides) is influenced by the developmental stage, depending on the season. In general, there is a tendency for the PA concentration to increase until full flowering and subsequently to decrease again for fruit and seed maturity. In each developmental stage the contents of the *N*-oxides were higher than the corresponding tertiary PAs. The individual compounds are influenced differently in their concentration: while some PAs are always subject to a significant influence by ontogenesis (retrorsine-*N*-oxide, senecionine), influences for senecivernine-*N*-oxide could only be detected in one season.

**Key words:** pyrrrolizidine alkaloids, common groundsel, ontogeny, seasons, toxic plant compounds

### Affiliationen

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Halle/Saale<sup>1</sup>  
PHARMAPLANT Arznei- und Gewürzpflanzen Forschungs- und Saatzucht GmbH, Artern (Jens Flade zugehörig bis 30.09.2017)<sup>2</sup>

### Kontaktanschrift

Prof. Dr. rer. nat. Wim Wätjen, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Weinbergweg 22, 06120 Halle/Saale, E-Mail: wim.waetjen@landw.uni-halle.de, Tel.: +49 345 5522380

### Zur Veröffentlichung angenommen

11. März 2020

## Einleitung

Aus experimentellen Arbeiten ist bekannt, dass die qualitativen und quantitativen Gehalte von Pyrrolizidinalkaloiden (PAs) in *Senecio*-Arten durch verschiedene Parameter determiniert werden (JOHNSON et al., 1985; HARTMANN und ZIMMER, 1986; SCHAFFNER et al., 2003; BERENDONK et al., 2010; KARAM et al., 2011; CARVALHO et al., 2014; CHIZZOLA et al., 2015; NURINGTYAS et al., 2015). Hinsichtlich der starken Verbreitung von *Senecio vulgaris* L. in Kulturen pflanzlicher Erzeugnisse (MITICH, 1995; ROBINSON et al., 2003; WILEN, 2006; WIEDENFELD, 2011; WIEDENFELD und EDGAR, 2011), können quantitative und qualitative Änderungen der PAs ein großes Risiko für den Verbraucher darstellen, da die damit einhergehenden Kontaminationsszenarien verändert werden (YABER GRASS und LEICACH, 2012; CHIZZOLA et al., 2015). Auch für eine Bestimmung und Bewertung der toxischen Wirkungen und Dosis von PAs in Fütterungsexperimenten mit Tieren ist eine große Variabilität der Alkaloide im pflanzlichen Ausgangsmaterial unzulänglich (WIEDENFELD und EDGAR, 2011).

Ziel der Untersuchung war daher, in Parzellenfreilandversuchen die Wachstumsparameter von *Senecio vulgaris* in der oberirdischen Biomasse bzw. im Kraut zu untersuchen. Vor allem aber stand zum Ziel, die PA-Parameter (Konzentration bezogen auf die Trockenmasse, Menge pro Pflanze) auf ontogenetische Unterschiede zu verschiedenen Jahreszeiten zu untersuchen, um damit einen Beitrag für die Risikobewertung von PAs als Prozesskontaminanten in Arznei- und Lebensmitteln zu leisten. Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse und deren Schlussfolgerungen wurden von FLADE et al. (2019) bereits veröffentlicht.

## Material und Methoden

Die praktischen Experimente mittels Parzellenfreilandversuchen wurden im Jahr 2016 (30.03.2016 bis 03.12.2016) im nordthüringischen Artern bei der PHARMAPLANT Arznei- und Gewürzpflanzen Forschungs- und Saatzucht GmbH (Am Westbahnhof 4, 06556 Artern) durchgeführt. Für die Versuche wurden pflanzfertige Jungpflanzen von *Senecio vulgaris*, die in einem Gewächshaus mit Wechseltemperatur (Temperatur je nach Jahres- und Tages-

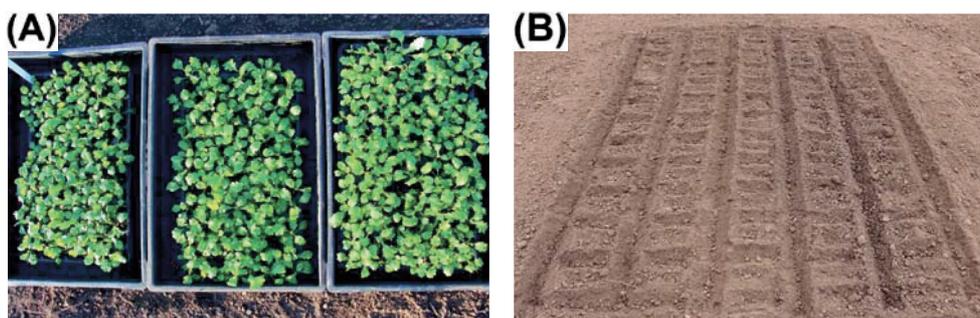
zeit zwischen 13–32°C) angezogen wurden, verwendet (Abb. 1a).

Es wurden vier Teilversuche zu unterschiedlichen Jahreszeiten durch manuelle Pflanzung angelegt: Frühling (F-01), Frühsommer (FS-02), Hochsommer (HS-03) und Herbst (H-04). Hinsichtlich der Ontogenese wurden für die Untersuchung fünf Entwicklungsstadien für die Probenahme von *Senecio vulgaris* charakterisiert (S-1 bis S-5). Die Charakterisierung der ersten beiden Entwicklungsstadien erfolgte anhand der Anzahl von Pflanzenorganen (S-1: Blätter, S-2: Sprosstriebe). Die weiteren Stadien repräsentierten das Erscheinen der ersten geschlossenen Einzelblüten bis zum Blühbeginn (S-3, bis BBCH 61), Vollblüte (S-4, BBCH 65) und die Fruchtentwicklung/Samenreife (S-5); diese wurden nach visueller Einschätzung der Parzellen bestimmt.

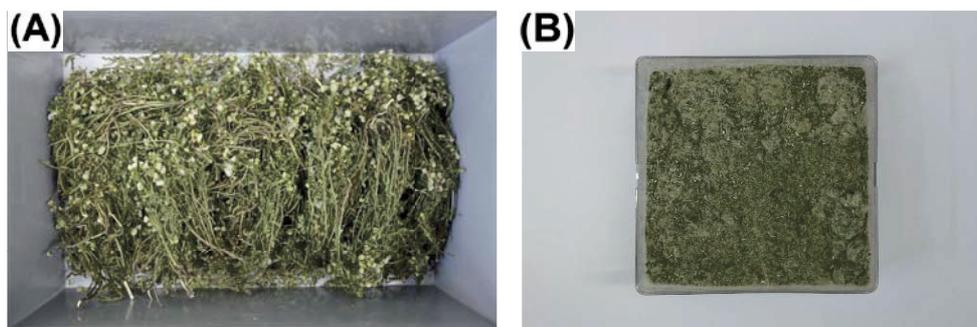
Von jedem Entwicklungsstadium wurden je Teilversuch fünf Wiederholungen (Parzellen von 5,54 m<sup>2</sup>; Abb. 1b) angelegt und beprobt. Die Anordnung der Wiederholungen erfolgte je Teilversuch im Lateinischen Quadrat. Die Probenahmen erfolgten jeweils ab 13.00 Uhr an den entsprechenden Terminen. Die Trocknung der parzellenweise geernteten Proben erfolgte bei 60°C in einem Trockenschrank. Vor dem Versand der Proben wurde das getrocknete Pflanzenmaterial mit einer Schneidmühle auf 4 mm gemahlen (Abb. 2).

Die anschließenden chemisch-physikalischen Untersuchungen (Trockenmassebestimmung, Clean-Up und PA-Analytik) der erstellten Proben von *Senecio vulgaris* erfolgten bei Institut Kirchhoff Berlin GmbH (Oudenarder Straße 16/Carrée Seestraße, 13347 Berlin-Mitte). Die Proben des Pflanzenmaterials wurden bei Institut Kirchhoff nochmals mit einer Messermühle homogenisiert und unter Zugabe von Trockeneis auf 0,25 mm Korngröße mit einer Ultra-Zentrifugalmühle zerkleinert. Die Bestimmung der Trockenmasse bei 103°C erfolgte von Teilmengen der Proben. Die Analytik der PAs im Pflanzenmaterial erfolgte entsprechend der vom BfR publizierten und validierten Methode „BfR-PA-Tee-2.0/2014“, welche ausführlich die Bestimmung von insgesamt 28 tertiären PAs und PAN-Oxiden (PANOs) mittels SPE-LC-MS/MS beschreibt (BfR, 2014).

In der „BfR-PA-Tee-2.0/2014“ sind 13 PAs des Senecioin-Strukturtyps als Standardsubstanzen aufgeführt, von welchen neun Substanzen in den Proben von *Senecio vulgaris* detektiert wurden: Retrorsin (Re), Retrorsin-



**Abb. 1.** Ausspflanzung im Freiland A: Pflanzfertige Jungpflanzen von *Senecio vulgaris* in 104er-Jungpflanzenpaletten (Foto: 29.03.2016, Frühling-01). B: Vorgezogene Parzelle vor Pflanzung im Raster 0,33 × 0,2 m (Foto: 29.03.2016, Frühling-01).



**Abb. 2.** Probe von *Senecio vulgaris* A: nach Trocknung und B: nach Zerkleinerung auf 4 mm bei PHARMAPLANT (Probe aus Prüfglied S-04, Frühsommer-02).

*N*-oxid (ReNO), Seneciphyllin (Sp), Seneciphyllin-*N*-oxid (SpNO), Senecivernin (Sv), Senecivernin-*N*-oxid (SvNO), Senecionin (Sc), Senecionin-*N*-oxid (ScNO), Senkirkin (Sk).

### Ergebnisse

Die PA-Konzentration der Gesamtsumme der neun PAs unterliegt in drei Jahreszeiten (Frühling, Frühsommer und Herbst) einem signifikanten Einfluss des Entwicklungsstadiums bei Probenahme. Dabei zeigt *Senecio vulgaris* ganzjährig eine PA-Abundanz, in der Gesamtsumme der Einzelverbindungen, von mindestens  $1654,3 \pm 394,1 \mu\text{g/g}$  (S-5, Herbst-04) und kann im Jahresverlauf eine maximale Konzentration der PA-Summe von  $4910,2 \pm 1349 \mu\text{g/g}$  (S-2, Hochsommer-03) annehmen. Allgemein äußerte sich eine Tendenz der mittleren Abnahme der PA-Konzentration zur Frucht- und Samenreife (S-5).

Die PA-Menge pro Pflanze wird in allen Jahreszeiten bis zur Vollblüte (S-4) maßgebend durch die Wachstumsfunktion der Pflanzenmasse beeinflusst, d.h., dass bis zu diesem Stadium eine stetige Akkumulation von PAs in *Senecio vulgaris* durch oberirdischen Biomassezuwachs erklärt werden kann. Im Frühling ist dies auch noch nach der Vollblüte festzustellen, so erhöht sich mit einem Ansteigen der Frisch- und Trockenmasse die PA-Menge pro Pflanze weiter bis auf  $54,16 \pm 4.38 \text{ mg/Pflanze}$ ; der maximalen gemessenen PA-Menge in der Untersuchung. Weiterhin konnte wahrgenommen werden, dass sich die PA-Mengen in der Vollblüte (S-4) und Frucht- und Samenreife (S-5) deutlich in allen Jahreszeiten unter-

scheiden. Besonders hervorzuheben sind hierbei die hohen PA-Mengen im Frühling und Frühsommer.

Die Beeinflussung der Konzentration der Einzelverbindungen unterliegt einer Dynamik. Während einige PAs stets einem signifikanten Einfluss durch die Ontogenese zeigen (Retrorsin-*N*-oxid, Senecionin), konnten für Senecivernin-*N*-oxid nur im Hochsommer ontogenetische Einflüsse erkannt werden (Tab. 1).

Als PA mit der größten Abundanz in *Senecio vulgaris* konnte Senecionin-*N*-oxid mit einem prozentualen Anteil an der Gesamtsumme der neun PAs von 24,7-60,3% identifiziert werden. Weiterhin werden Seneciphyllin-*N*-oxid mit 11,3-44,5%, Senecionin mit 3,6-17,7%, Seneciphyllin mit 1,4-11,8% und Retrorsin-*N*-oxid mit 0,6-30,0% als weitere Leitalkaloide herausgestellt.

Die biometrisch erfassten Wachstumsparameter (Pflanzenhöhe, Frisch- und Trockenmasse) zeigen, dass *Senecio vulgaris* vor allem im Frühling und Frühsommer sehr wuchsstarke Pflanzen ausbilden kann.

### Diskussion

Den zugrundeliegenden Arbeitshypothesen folgend, konnte festgestellt werden, dass die PA-Konzentration bezogen auf die Trockenmasse und die PA-Menge pro Pflanze, für die Summe der neun detektierten PAs, in *Senecio vulgaris* von der Ontogenese bzw. dem Entwicklungsstadium bei Probenahme abhängig ist. Interessant ist zudem, dass beide Parameter, aber v.a. die PA-Menge pro Pflanze, zu einem bestimmten Maße, durch einen jahreszeitlichen Einfluss geprägt werden. Dieser Einfluss

**Tab. 1.** Ontogenetische Einflüsse auf die Varianz der Konzentration von den PA-Analyten in *Senecio vulgaris* zu verschiedenen Jahreszeiten (F-01 bis H-04), ANOVA,  $\alpha = 0,05$ . +++ hoch signifikant ( $p < 0,001$ ), ++ sehr signifikant ( $p < 0,01$ ), + signifikant ( $p < 0,05$ ), n.s. nicht signifikant ( $p \geq 0,05$ ).

	Re	ReNO	Sp	SpNO	Sv	SvNO	Sc	ScNO	Sk
F-01	+++	+++	+++	+++	+	n.s.	+++	+++	n.s.
FS-02	+++	+++	+++	+++	+++	n.s.	+++	++	+++
HS-03	+++	+++	+++	++	+++	+	+++	n.s.	+++
H-04	n.s.	+++	n.s.	+	n.s.	n.s.	+++	+++	++

wurde jedoch aufgrund von kausal nicht quantifizierbaren Einflussfaktoren wie Temperatur und Niederschlag nicht statistisch verrechnet. Die Zunahme der PA-Menge pro Pflanze, mit fortschreitender Entwicklung der Versuchspflanzen, kann in *Senecio vulgaris* durch den Biomassezuwachs der Pflanzen erklärt werden. Analog zum Wachstum der oberirdischen Pflanzenteile kann angenommen werden, dass auch die PA-Syntheseorgane (Wurzeln) in ihrem Wachstum zunehmen und zu einem kontinuierlichen Anstieg der PA-Menge pro Pflanze beitragen. Mit zunehmendem Wachstum wird die PA-Konzentration nur wenig ausgeglichen, da sie physiologisch als nicht kostenintensiv gilt (VRIELING und VAN WIJK, 1994; HOL, 2011). Ein Ausgleich zwischen Pflanzenwachstum und PA-Konzentration wird nur unter Bedingungen erwartet, bei welchen beide Parameter von derselben Ressource, wie z.B. Licht, abhängig sind bzw. limitiert werden (VRIELING und VAN WIJK, 1994).

Aus den vorliegenden Untersuchungen wird tendenziell deutlich, dass die PA-Konzentration in der Trockenmasse am Ende des Lebenszyklus von *Senecio vulgaris* zur Frucht- und Samenreife (S-5) abnimmt. HARTMANN und ZIMMER konnten bereits 1986 diesen Effekt in der PA-Konzentration bezogen auf die Frischmasse feststellen.

Im Herbst wurde beobachtet, dass vergleichsweise viele PAs in ihrer Konzentration ontogenetisch nicht beeinflusst werden. Dies kann in der Aktivität der spezifischen Enzyme für die jeweiligen Modifikationen begründet sein, welche HARTMANN und DIERICH (1998) hervorgehoben haben. Es ist vorstellbar, dass sich unterschiedliche Temperaturverhältnisse im Herbstversuch (sehr warm bis S-2; Temperaturen im Minusbereich zu S-5) darin widerspiegeln.

Einhergehend mit a) anzunehmenden unterschiedlichen Erträgen der Sonderkulturen (regional, saisonal, interannuell); b) den Unterschieden in der Abundanz von PA-bildenden Beikräutern in verschiedenen Beständen von Arznei- und Gewürzpflanzen (siehe u.a.: WAHL und PLESCHER, 2017), können die Kontaminationsszenarien auch durch c) die ontogenetischen Unterschiede und jahreszeitlichen Einflüsse in der PA-Menge des Beikrautes beeinflusst werden. Diese Aspekte sollten im Sinne des Verbraucherschutzes für regulatorische Betrachtungen und Maßnahmen berücksichtigt werden, da sich die PA-Konzentration in und die PA-Menge pro Pflanze von *Senecio vulgaris* je nach Entwicklungsstadium und Jahreszeit deutlich unterscheiden können. Zudem stellen die phytochemischen Variationen der Einzelverbindungen während der Ontogenese weitere Herausforderungen dar, weil bekannt ist, dass sich die unterschiedlichen PAs oder PA-Typen in ihrer Toxizität unterscheiden können (Li et al., 2013).

### Interessenskonflikte

Die Autoren erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

### Literatur

- BERENDONK, C., D. CERFF, K. HÜNTING, H. WIEDENFELD, J. BECERRA, M. KUSCHAK, 2010: Pyrrolizidine alkaloid level in *Senecio jacobaea* and *Senecio erraticus* – the effect of plant organ and forage conservation. Grassland science in Europe 15. Grassland in a changing world. Proceedings of the 23<sup>th</sup> general meeting of the European Grassland Federation, Kiel, Germany, August 29<sup>th</sup> – September 2<sup>nd</sup> 2010. Duderstadt: Mecke Druck und Verlag, S. 669–671.
- BfR, 2007: BfR Salatmischung mit Pyrrolizidinalkaloid-haltigem Greiskraut verunreinigt. Stellungnahme Nr. 028/2007 des BfR vom 10. Januar 2007.
- BfR, 2014: Bestimmung von Pyrrolizidinalkaloiden (PA) in Pflanzenmaterial mittels SPE-LC-MS/MS. Methodenbeschreibung. BfR-PA-Tee-2.0/2014.
- CARVALHO, S., M. MACEL, P.P.J. MULDER, A. SKIDMORE, W.H. VANDER PUTTEN, 2014: Chemical variation in *Jacobaea vulgaris* is influenced by the interaction of season and vegetation successional stage. *Phytochemistry* **99**, 86–94, DOI: 10.1016/j.phytochem.2013.12.004.
- CHIZZOLA, R., G. BASSLER, M. KRIECHBAUM, G. KARRER, 2015: Pyrrolizidine alkaloid production of *Jacobaea aquatica* under different cutting regimes. *J Agric Food Chem* **63** (4), 1293–1299, DOI: 10.1021/jf5047927.
- FLADE, J., H. BESCHOW, M. WENSCH-DORENDORF, A. PLESCHER, W. WÄTJEN, 2019: Occurrence of nine pyrrolizidine alkaloids in *Senecio vulgaris* L. depending on developmental stage and season. *Plants* **2019**, 8, 54, DOI: 10.3390/plants8030054.
- HARTMANN, T., B. DIERICH, 1998: Chemical diversity and variation of pyrrolizidine alkaloids of the senecionine type. Biological need or coincidence? In: *Planta* **206** (3), 443–451, DOI: 10.1007/s004250050420.
- HARTMANN, T., M. ZIMMER, 1986: Organ-specific distribution and accumulation of pyrrolizidine alkaloids during the life history of two annual *Senecio* species. *J Plant Physiol* **122** (1), 67–80, DOI: 10.1016/S0176-1617(86)80085-2.
- HOL, W.H.G., 2011: The effect of nutrients on pyrrolizidine alkaloids in *Senecio* plants and their interactions with herbivores and pathogens. In: *Phytochem Rev* **10** (1), 119–126, DOI: 10.1007/s11101-010-9188-7.
- HOL, W.H.G., K. VRIELING, J.A., VAN VEEN, 2003: Nutrients decrease pyrrolizidine alkaloid concentrations in *Senecio jacobaea*. In: *New Phytol* **158** (1), 175–181, DOI: 10.1046/j.1469-8137.2003.00710.x.
- JOHNSON, A.E., R.J. MOLYNEUX, G.B. MERRILL, 1985: Chemistry of toxic range plants. Variation in pyrrolizidine alkaloid content of *Senecio*, *Amsinckia*, and *Crotalaria* species. *J Agric Food Chem* **33** (1), 50–55, DOI: 10.1021/jf00061a015.
- KARAM, F.S.C., M. HARAGUCHI, D.R. GARDNER, 2011: Seasonal variation in pyrrolizidine alkaloid concentration and plant development in *Senecio madagascariensis* Poir. (Asteraceae) in Brazil. In: F. Riet-Correa, J. Pfister, A. L. Schild and T. Wierenga (Hg.): Poisoning by plants, mycotoxins and related toxins. Wallingford: CABI, S. 179–185.
- LI, Y.H., W.L.T. KAN, N. LI, G. LIN, 2013: Assessment of pyrrolizidine alkaloid-induced toxicity in an in vitro screening model. In: *J Ethnopharmacol* **150** (2), 560–567, DOI: 10.1016/j.jep.2013.09.010.
- MITICH, L.W., 1995: Common groundsel (*Senecio vulgaris*). In: *Weed Technol* **9** (1), 209–211, DOI: 10.1017/S0890037X00023204.
- NURINGTYAS, T.R., R. VERPOORTE, P.G.L. KLINKHAMER, CHOI, YOUNG HAE, K.A. LEISS, 2015: Metabolomic study of diurnal variation on pyrrolizidine alkaloid from *Jacobaea sp.* hybrids. Conference Proceedings 4<sup>th</sup> International Conference and Exhibition on Metabolomics & Systems Biology, 27<sup>th</sup>–29<sup>th</sup>. April 2015. Philadelphia, USA. In: *Metabolomics* (Los Angel), Posters – Accepted Abstracts.
- ROBINSON, D.E.; J.T. O'DONOVAN, M.P. SHARMA, D.J. DOOHAN, R. FIGUEROA, 2003: The biology of Canadian weeds. 123. *Senecio vulgaris* L. *Can J Plant Sci* **83** (3), 629–644, DOI: 10.4141/P01-124.
- SCHAFFNER, U., K. VRIELING, E. VAN DER MELDEN, 2003: Pyrrolizidine alkaloid content in *Senecio*. Ontogeny and developmental constraints. *Chemoecology* **13** (1), 39–46, DOI: 10.1007/s000490300004.
- VRIELING, K., C.A.M. VAN WIJK, 1994: Cost assessment of the production of pyrrolizidine alkaloids in ragwort (*Senecio jacobaea* L.). In: *Oecologia* **97** (4), 541–546, DOI: 10.1007/BF00325894.
- WAHL, S., A. PLESCHER, 2017: Erfassung der Beikrautflora in Arznei- und Gewürzpflanzen-Beständen unter besonderer Berücksichtigung Pyrrolizidinalkaloid-haltiger Unkräuter. In: FNR (Hg.): Gülzower Fachgespräche. 3. Tagung Arzneipflanzenanbau in Deutschland – Mit koordinierter Forschung zum Erfolg. Schweinfurt, 20.-21.06.2017 (56), S. 84–97.

WIEDENFELD, H., 2011: Plants containing pyrrolizidine alkaloids. Toxicity and problems. Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess **28** (3), 282–292, DOI: 10.1080/19440049.2010.541288.

WIEDENFELD, H., J. EDGAR, 2011: Toxicity of pyrrolizidine alkaloids to humans and ruminants. Phytochem Rev **10** (1), 137–151, DOI: 10.1007/s11101-010-9174-0.

WILEN, C.A., 2006: Common groundsel: Pest Notes 2006; University of California, Agriculture and Natural Resources: Davis, CA, USA, 2006.

YABER GRASS, M.A., S.R. LEICACH, 2012: Changes in *Senecio grisebachii* pyrrolizidine alkaloids abundances and profiles as response to soil quality. In: J Plant Interact **7** (2), 175–182, DOI: 10.1080/17429145.2011.591504.

© Der Autor/Die Autorin 2020.

 Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

© The Author(s) 2020.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).