

Analysis of Cadaverine and Its Worker Honeybee Venom Content (*Apis mellifera* L.)

Hong Min Choi, Hyo Young Kim, Se Gun Kim and Sang Mi Han*

Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju-gun, Jeollabuk-do 55365, Korea

Received September 26, 2020 / Revised November 25, 2020 / Accepted November 25, 2020

This study aimed to analyze the content and composition of a biological amine, cadaverine, isolated from the venom of worker honeybees (*Apis mellifera* L.). This biological amine—which has diverse functionality, such as anti-inflammatory and antibacterial effects—has not been previously reported in bee venom. An assay completed in 13 minutes was developed for the cadaverine present in the bee venom using an ultra-performance liquid chromatograph and a Halo C18 column with acetonitrile and water as the mobile phase. The specificity, accuracy, and precision of the assay were verified, and the assay was validated. The linearity for cadaverine in the bee venom was $R^2=0.99$ or above, indicating a moderate level. The limit of detection and limit of quantification were both $0.3 \mu\text{g/ml}$, and the rate of recovery was 97.6%-99.1%. The relative standard deviation (RSD) of the intra-day precision and inter-day precision for cadaverine was 0.25%-0.44% and 0.25%-1.25%, respectively, with an RSD that fell within 5% indicating excellent precision. Through this novel assay, it was found that the mean content of cadaverine was $1.10 \pm 0.05 \text{ mg/g}$. Our results indicated that the linearity, limit of detection, limit of quantification, and rate of recovery of the cadaverine assay were of a satisfactory level, and the cadaverine content of the bee venom was ably determined. This study provides basic data on cadaverine in bee venom, which will prove useful in further studies on the bioactivity of this component.

Key words : *Apis mellifera* L., bee venom, biological amine, cadaverine, validation

서 론

꿀벌, 말벌 그리고 개미와 같은 벌목과(Hymenoptera) 곤충은 강력한 독을 분비하기 때문에 인류의 역사와 함께 많은 연구가 이루어져 왔다[9, 23]. 그 중에서도 순수 천연물질이면서 강력한 항균, 항염증 효과를 갖는 봉독은 부작용과 잔류에 대한 위험성이 적어 봉침요법으로 오래전부터 관절염, 통풍 등의 질환에 사용되고 있다[1, 21]. 서양종꿀벌(*Apis mellifera* L.) 일벌의 독인 봉독은 다양한 성분이 복합적으로 구성되어 있으며, 주 성분인 melittin은 건조 중량의 50% 이상을 차지하며 항염증[7, 23]과 항균작용[7, 9, 23], 강력한 진통작용[2], 면역증강[20] 등의 역할을 한다고 알려져 있다. 그 밖에 apamin, MCD-Peptide 401 등의 펩타이드 성분과 hyaluronidase와 phospholipase A2 등의 효소류, 극미량의 지질과 아미노산, 생체 아민 등 40여종의 성분이 밝혀졌다[9, 23]. 뱀과 곤충에서 분비

되는 독은 일반적으로 저분자의 생체 아민(biological amines) 성분이 함유되어 있으며 특히 거미류에서 보고된 생체 아민 성분은 putrescine, cadaverine, spermidine, spermine 등이며 그 기능에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다[3, 22]. 그러나 봉독에서 보고된 생체 아민 성분은 봉독과 말벌독에서 알려지던 histamine과 dopamine, norepinephrine 등으로 이들의 생리활성이나 새로운 물질에 대한 연구는 미흡한 실정이다[20].

따라서 본 연구에서는 서양종꿀벌 일벌의 독에서 생체 아민 성분인 cadaverine을 확인하고 봉독에서의 분석법을 확립하고자 하였다.

재료 및 방법

공시 시료 및 시약

본 실험에 사용된 봉독은 2017~2019년에 채집된 국산 봉독 (Chunggin Biotech, Korea)을 구입하여 사용하였으며, 표준품으로 이용된 cadaverine dihydrochloride는 시그마 알드리치 (St. Louis, Missouri, USA) 제품을 사용하였다. 봉독 20 mg을 0.1N 염산(Sigma-Aldrich, Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, USA)에 녹여 사용하였으며, 표준품인 cadaverine dihydrochloride는 1 mg/ml 농도로 0.1N 염산에 녹인 후 필요한 농도로 희석하여 사용하였다. 분석용매로는 HPLC 등급의 acetonitrile (Merck, Darmstadt, Germany)과 증류수(Honeywell,

*Corresponding author

Tel : +82-63-238-2896, Fax : +82-63-238-3843

E-mail : sangmih@korea.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Charlotte, North Carolina, USA)을 사용하였다.

유도체화 용액제조

Cadaverine 유도체화는 750 mg Dansyl Chloride (Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, USA)를 100 ml acetone (Merck, Darmstadt, Germany)에 녹여 유도체화 용액을 제조하고, 8 g Sodium bicarbonate (Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, USA)를 100 ml 3차 증류수에 녹여 포화상태의 Sodium bicarbonate용액을 제조하였다. 100 mg L-proline (Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, USA)을 3차 증류수에 녹여 10% L-proline 용액을 제조하였다.

Cadaverine 유도체화

Cadaverine 분석을 위해 가장 널리 이용되는 dansyl chloride를 이용한 유도체화를 실시하였다[6, 16]. 봉독 시료와 cadaverine 표준용액 100 µl를 1.5 ml microcentrifuge tube에 넣어 탄산수소나트륨용액 200 µl와 유도체화 용액 400 µl를 혼합하여 60°C 압 조건에서 10분간 반응시켜 유도체화 하였다. 유도체화 된 용액을 L-proline 용액 100 µl를 첨가하여 실온에서 30분간 반응시켰다. 해당 용액에 500 µl diethyl ether (Merck, Darmstadt, Germany)를 첨가하여 1분간 혼합 후, 4°C에서 5,000 g 속도로 10분간 원심분리하였으며, 상층액 200 µl를 취하여, 질소농축기(Caliper life science Inc, Hopkinton, Massachusetts, USA)를 이용하여 농축하였다. 분석을 위해 농축된 시료에 1 ml acetonitrile을 첨가한 후 0.2 µm syringe filter에 걸러낸 후 분석에 사용하였다.

분석기기 및 분석조건

봉독 내 cadaverine의 정량을 위하여 Waters (Honeywell, Charlotte, North Carolina, USA)사의 PDA (photo diode array)검출기가 장착된 Acquity UPLC (Ultra Performance Liquid Chromatography) I-Class를 사용하여 Table 1과 같은 조건으로 분석하였다.

분석법 검증

봉독 내 생체 아민류인 cadaverine에 대한 분석법 밸리데이션은 식품의약품안전처의 “의약품 등 분석법의 밸리데이션에 대한 가이드라인”에 의거하여 특이성(specificity), 직선성(linearity), 정확성(accuracy), 정밀성(precision), 검출한계(limit of detection, LOQ), 정량한계(limit of quantification, LOQ) 등을 평가하였다[18]. 봉독과 표준품을 각각 유도체화하여 이들의 UV spectrum 패턴과 머무름시간을 비교하여 특이성을 판단하였다. 직선성은 봉독 내 cadaverine의 농도를 포함하는 5개 구간의 농도를 설정하였으며, 6.25~100 µg/ml에서 상관계수(R²) 값이 0.99 이상의 직선성을 확인하였다. 정확성은 봉독 시료에 3가지 농도의 표준품을 첨가하여 ±10% 범위의 회수율

Table 1. Chromatographic conditions for analysis of cadaverine in honeybee venom

Item	Condition		
Column	Halo C18 (2.1×100 mm, 2.0 µm)		
Flow rate	0.25 ml/min		
Column temperature	20°C		
Injection volume	2 µl		
Wavelength	254 nm		
	Time (min)	Acetonitrile (%)	Water (%)
	0	50	50
Mobile phase	2.64	62	38
	2.87	62	38
	8	75	25
	9	75	25
	13	100	0

로 평가하였으며, 정밀성은 표준품의 3가지 농도를 설정하여 일내(intra-day) 및 일간(inter-day) 변화를 측정하여 상대표준편차(relative standard deviation, RSD)를 계산하여 정밀도를 평가하였다. 검출한계와 정량한계는 표준품의 검량선을 이용하여 y절편의 표준편차와 기울기에 근거하여 계산하였다.

LOD = 3.3× (standard deviation/slope of calibration curve)

LOQ = 10× (standard deviation/slope of calibration curve)

결 과

분석 조건 최적화

봉독 내에 존재하는 다양한 생체 아민류를 유도체화하여 분석하는 분석법을 확립하고자 다양한 용매 조성, 컬럼의 종류, 온도, 파장 등의 조건을 달리하여 새로운 분석 조건을 확립하였다(Table 1). 총 분석 시간은 13분이었으며, 이동상으로는 acetonitrile과 증류수를 사용하고, C18 (2.1×100 mm, 2.0 µm) 컬럼에서 오픈 온도를 20°C로 설정하였을 때 양호한 피크 분리를 확인할 수 있었다. Cadaverine 피크의 머무름 시간은 5.755였다. 본 연구의 분석조건에서 표준품은 다른 피크의 간섭 없이 분리되었으며, 비교적 짧은 시간 동안 높은 분리를 나타내었다(Fig. 1).

분석법 검증

봉독 내 생체 아민류를 분석하기 위한 UPLC 분석법의 타당성을 검증하기 위하여 특이성, 직선성, 정확성, 정밀성, 검출한계, 정량한계 등을 평가하였다. 봉독 내 생체 아민인 cadaverine의 특이성은 표준품과 봉독 내 UPLC 크로마토그램의 피크의 머무름시간과 UV 스펙트럼 패턴의 일치 여부로 평가하였다. Fig. 2에서 보는 것처럼 표준품과 시료 내 동일한 머무름 시간을 갖는 피크가 존재하였으며, 이는 200-400 nm 내에서

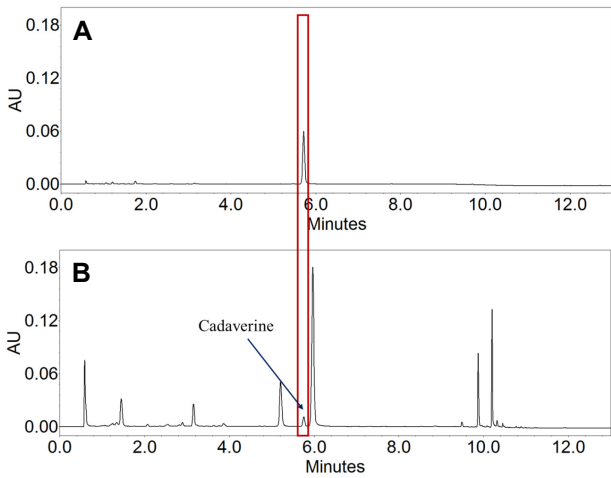


Fig. 1. Chromatogram of (A) cadaverine and (B) honeybee venom at 254 nm.

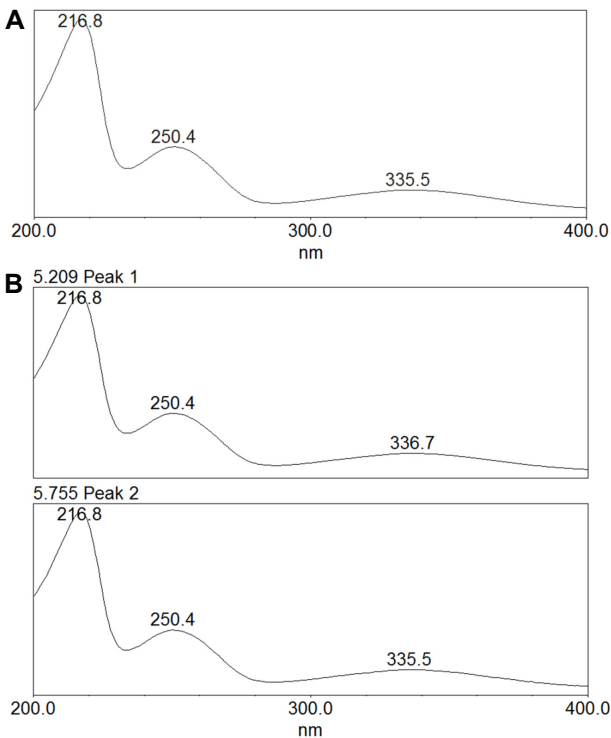


Fig. 2. Comparison of UV spectrum of (A) cadaverine, and (B) honeybee venom.

동일한 패턴을 나타내었다. 직선성은 봉독 내 표준품의 농도가 포함되는 구간으로 설정하였고 cadaverine은 6.25, 12.5, 25,

50, 100 µg/ml의 5가지 농도를 사용하여 검량선을 그려 직선성을 나타내었다. Cadaverine 검량선의 직선성을 위한 회귀식은 $y=2047.3x+870.31$ 이었고, 상관계수는 0.9999로 높은 직선성을 나타내었다. 직선성을 나타내는 범위 내에서 cadaverine의 검출한계 값은 0.3 µg/ml였으며, 검량한계 값은 1.0 µg/ml이었다(Table 2). 분석 시간의 변동에 따른 분석 시료의 함량 변화를 확인하기 위해 일내 정밀도와 일간 정밀도를 각각 측정하였다. C adaverine의 일내 정밀도는 상대표준편차값이 0.25~0.44%였으며, 일간 정밀도는 0.25~1.25%로 상대표준편차 값이 5% 이내의 우수한 정밀성을 갖는 것으로 확인되었다(Table 3). 분석 조건의 정확성은 봉독 시료에 3가지 농도의 표준품을 첨가하여 회수율을 측정하여 평가하였다. 봉독에 cadaverine을 혼합하여 각각 12.5, 25, 50 µg/ml 농도에서 회수율을 측정한 결과, 97.6~99.1%로 높은 회수율을 나타내었다(Table 4). 이는 본 분석방법이 생체 아민류인 cadaverine을 유도체화하여 정량분석하기에 충분한 재현성을 가지고 있음을 의미한다.

봉독 내 cadaverine의 함량

국내 양봉농가에서 채취한 봉독에서 cadaverine 함량을 정량 분석하였다. 봉독 내 cadaverine 함량은 1.10 ± 0.05 mg/g 존재하였고, 상대표준편차는 4.6%로 측정되었다. 봉독 내에 cadaverine 함량은 평균 0.11% 존재하는 것으로 확인되었다(Table 5).

본 연구를 통해 봉독 내에 생체 아민류를 분석할 수 있었으며, 기존 HPLC를 이용한 방법보다 짧은 시간 내에 높은 분리도와 재현성을 갖는 분석이 가능한 분석법을 확립하였다.

고찰

벌목과 곤충의 독은 벌의 종류와 일령에 따라 성분과 함량이 다르기 때문에 생리활성에도 차이를 갖는다[21]. 국내에서 사육되는 꿀벌은 고구려 동명성왕 시대의 기록에 남아있는 동양종꿀벌(*Apis cerana*)과 1904년 독일에서 들여온 것으로 알려진 서양종꿀벌 2종(種)으로 동양종꿀벌의 일벌의 평균 독량은 0.2 mg 인 반면 서양종꿀벌은 0.3 mg으로 양이 많다[23]. 현재 양봉농가에서 사육하고 있는 꿀벌은 대부분 서양종꿀벌로 현재 산업적으로 활용되는 봉독은 서양종꿀벌의 일벌독이다. 2005년 본 연구팀에서 꿀벌은 죽이지 않고 봉독만을 채집할 수 있는 봉독채집장치를 개발함에 따라 다량의 봉독을 채

Table 2. Measurement of LOD, LOQ and linearity for cadaverine

Items	LOD (µg/ml) ¹⁾	LOQ (µg/ml) ²⁾	Calibration equation (y=Ax+B)		
			Slope (A)	Intercept (B)	Correlation coefficient (R ²)
Measurement	0.3	1.0	2,047.3	807.31	0.9999

¹⁾LOD, limit of detection, ²⁾LOQ, limit of quantification

Table 3. Precision data of cadaverine deviatives in honeybee venom

Standard	Concentration (µg/ml)	Intra-day		Inter-day	
		Mean ± SD	RSD ¹⁾ (%)	Mean ± SD	RSD (%)
Cadaverine	12.5	12.65±0.06	0.44	12.84±0.10	0.79
	25	26.11±0.09	0.36	27.15±0.07	0.25
	50	50.84±0.13	0.25	55.02±0.66	1.20

¹⁾RSD, Relative standard deviation

집할 수 있게 되어 성분, 생리활성, 약리 기전 등 연구가 가능하게 되었다. 국내에서 봉독은 한의원에서 주사제로 이용될 뿐만 아니라 가축적용 항생제[13], 화장품과 세정제의 원료 등 다양한 실용화 소재로서 사용하게 되었다[10, 14]. 최근 여드름 치료를 위한 의약품 임상시험이 추진되고 있으나(임상 2상), 봉독은 한의약에서의 임상 및 독성평가 등을 통해 안전성이 [11, 12] 확보되었음에도 불구하고 여전히 봉독은 식용이 불가능한 원료로 되어 있어 다양한 소재로의 개발에 한계를 갖고 있는 실정이다. 본 연구에서는 생리활성을 갖는 기능성 물질 이외에 아직까지 보고된 바 없는 미량의 봉독 성분을 분석하고자 하였다. 생체 아민은 생물체의 세포 내 아미노산의 탈탄산 작용(decarboxylation), 아미노기 전이작용(transamination) 등의 화학적 작용에 의해 생성되는 생리활성을 지닌 저분자량의 유기 질소 화합물을 말한다[5, 17, 19]. 인체 및 동물 체내에서의 생체 아민의 역할은 중추 신경의 신경전달물질로서 혈압조절 및 혈류 등 심혈관계에도 영향을 미치는 필수 성분 중의 하나로 알려져 있으며 봉독에서도 histamine과 dopamine, norepinephrine 성분이 이러한 역할을 하는 것으로 밝혀졌다[6, 15, 16, 24]. 봉독 내에 histamine은 약 0.1%, dopamine은 0.13% 그리고 norepinephrine 0.5% 함유 되어 있는 것으로 알려져 있다[23]. 생체 아민류 중의 하나인 cadaverine은 동물조직의 부패 중에 단백질 가수 분해에 의해 생성되는 물질로 산성 스트레스로부터 미생물 세포를 보호하기 위해 세균 대사 경로에서 lysine 탈 카르복실화 효소의 촉매

작용으로 합성되는 것으로 알려져 있다[3, 8]. 최근 석유 화학 제품 생산의 대안으로 친환경적이고 재생산이 가능한 미생물 기반 생산 시스템인 바이오 기반의 새로운 생산물들이 개발되어지고 있는데 그중 하나가 cadaverine으로 많은 연구가 이루어지고 있다[4].

본 연구에서는 지금까지 봉독에서 보고 된 바 없는 cadaverine 성분이 평균 0.11% 가량 함유된 것으로 확인하였다. 또한 봉독에서의 생체 아민인 cadaverine 분석에 대한 직선성, 검출한계, 정량한계 및 회수율을 측정된 결과, 모두 만족스러운 결과를 나타냈으며, 봉독의 생체 아민에 대한 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 기대되며 향후 cadaverine이 봉독에서의 역할에 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 바이오그린연계농생명혁신기술개발사업(과제번호: PJ01563403)에 의하여 수행되었습니다.

The Conflict of Interest Statement

The authors declare that they have no conflicts of interest with the contents of this article.

References

- Baek, Y. H., Huh, J. E., Lee J. D., Choi, D. Y. and Park, D. S. 2006. Antinociceptive effect and the mechanism of bee venom acupuncture (apipuncture) on inflammatory pain in the rat model of collagen-induced arthritis: mediation by alpha2-adrenoceptors. *Brain Res.* **1073-1074**, 305-310.
- Chen, J. and Lariviere, W. R. 2010. The nociceptive and anti-nociceptive effects of bee venom injection and therapy: a double-edged sword. *Prog. Neurobiol.* **92**, 151-183.
- Cho, Y. J., Son, M. J., Kim, S. M., Park, H. K., Yeo, H. K. and Shim, K. B. 2008. Effect of storage conditions on biogenic amine levels in dark-fished fishes. *J. Fish. Mar. Sci. Edu.* **20**, 135-145.
- Choi, H. and Lee, J. H. 2018. Continuous production of cadaverine using PANI/Ba-alginate enzyme reactor. *Kor. Soc. Biotechnol. Bioeng. J.* **33**, 49-55.
- Clark, S. and Camargo, C. A. 2007. Epidemiology of anaphy-

Table 4. Recovery rates of cadaverine deviatives in honeybee venom

Standard	Spiked amount (µg/ml)	Measured amount (µg/ml)	Recovery (%)	RSD ¹⁾ (%)
Cadaverine	12.5	12.20±0.04	97.6	0.36
	25	24.78±0.07	99.1	0.29
	50	49.37±0.18	98.7	0.36

¹⁾RSD, Relative standard deviation

Table 5. Contents of cadaverine in honeybee venom

	Content (mg/g)	RSD ¹⁾ (%)
Cadaverine	1.10±0.05	4.60

¹⁾RSD, Relative standard deviation

- laxis. *Immunol. Allergy Clin. North Am.* **27**, 145-163
6. De Figueiredo, T. C., de Assis, D. C. S., Menezes, L. D. M., da Silva, G. R., Lanza, I. P., Heneine, L. G. D. and de Vasconcelos Cançado, S. 2015. HPLC - UV method validation for the identification and quantification of bioactive amines in commercial eggs. *Talanta* **142**, 240-245.
 7. Fennell, J. F., Shipman, W. H. and Cole, L. J. 1967. Antibacterial action of a bee venom fraction (melittin) against a penicillin-resistant *Staphylococcus* and other microorganisms. *Res. Dev. Tech. Rep.* **5**, 1-13.
 8. Frenzel, P., Fayyaz, S., Hillerbrand, R. and Pfennig, A. 2013. Biomass as feedstock in the chemical industry - an examination from an exergetic point of view. *Chem. Eng. Technol.* **36**, 233-240.
 9. Habermann, E. and Reiz, K. G. 1965. On the biochemistry of bee venom peptides, melittin and apamin. *Biochemistry* **343**, 192-203.
 10. Han, S. M., Hong, I. P., Woo, S. O., Chun, S. N., Park, K. K., Nicholls, Y. M. and Pak, S. C. 2015. The beneficial effects of honeybee venom serum on facial wrinkles in humans. *Clin. Interv. Aging* **10**, 1587-1592.
 11. Han, S. M., Lee, K. G., Park, K. K. and Pak, S. C. 2013. Skin sensitization study of bee venom (*Apis mellifera* L.) in guinea pigs and rats. *Cutan. Ocul. Toxicol.* **32**, 27-30.
 12. Han, S. M., Lee, K. G., Yeo, J. H. and Pak, S. C. 2012. Dermal and ocular irritation studies of honeybee (*Apis mellifera* L.) venom. *Am. J. Chin. Med.* **40**, 795-800.
 13. Han, S. M., Lee, K. G., Yeo, J. H., Oh, B. Y., Kim, B. S., Lee, W., Baek, H. J., Kim, S. T., Hwang, S. J. and Pak, S. C. 2010. Effects of honeybee venom supplementation in drinking water on growth performance of broiler chickens. *Poult. Sci.* **89**, 2396-2400.
 14. Han, S. M., Pak, S. C., Nicholls, Y. M. and Macfarlane, N. 2016. Evaluation of anti-acne property of purified bee venom serum in humans. *J. Cosmet. Dermatol.* **15**, 324-329.
 15. Harro, J. and Orelund, L. 2001. Depression as a spreading adjustments disorder of monoaminergic neurons: a case for primary implication of the locus coeruleus. *Brain Res. Rev.* **38**, 79-128.
 16. He, X., Li, J., Zhao, W., Liu, R., Zhang, L. and Kong, X. 2015. Chemical fingerprint analysis for quality control and identification of Ziyang green tea by HPLC. *Food Chem.* **171**, 405-411.
 17. Jancewicz, A. L., Gibbs, N. M. and Masson, P. H. 2016. Cadaverine's functional role in plant development and environmental response. *Front Plant Sci.* **7**, 870.
 18. KFDA, Drug etc. 2015. Test method validation guidelines. Osong.
 19. Kim, M. J., Kim, B. K., Kim, S. M., Park, J. S. and Hong, J. K. 2011. Profiling analysis of catecholamines and polyamines in biological samples. *J. Anal. Sci. Technol.* **24**, 319-333.
 20. Kolaczek, A., Skorupa, D., Antczak-Marczak, M., Kuna, P. and Kupczyk, M. 2017. Safety and efficacy of venom immunotherapy: a real life study. *Postepy. Dermatol. Alergol.* **34**, 159-167.
 21. Lee, J. A., Son, M. J., Choi, J., Jun, J. H., Kim, J. I. and Lee, M. S. 2014. Bee venom acupuncture for rheumatoid arthritis: a systematic review of randomized clinical trials. *BMJ Open* **4**, e006140.
 22. Morgan, E. D. Biosynthesis in insects. 2004. The royal society of chemistry, Cambridge UK pp 144
 23. Piek, T. 1986. Venoms of the hymenoptera: biochemical, pharmacological and behavioural aspects. London, Academic Press.
 24. Sutti, R., Rosa, B. B., Wunderlich, B., da Silva Junior, P. I. and da Rocha E Silva, T. A. A. 2015. Antimicrobial activity of the toxin VdTX-I from the spider *Vitalius dubius* (Araneae, Theraphosidae). *Biochem. Biophys. Rep.* **4**, 324-328.

초록 : 꿀벌(*Apis mellifera* L.) 일벌독의 생체아민 cadaverine 함량 및 분석법

최흥민 · 김효영 · 김세건 · 한상미*

(국립농업과학원 농업생물부 잠사양봉소재과)

본 연구의 목적은 항염, 항균 등 다양한 기능성을 갖는 서양종꿀벌(*Apis mellifera* L.)의 일벌독에서 분리한 봉독의 활성아민 성분과 함량을 분석하고 그 분석법을 검토하였다. 본 연구에서는 Ultra Performance Liquid Chromatography에 Halo C18컬럼과, acetonitrile 및 증류수를 이동상으로 사용하여 분석시간 13분 이내에서 봉독의 cadaverine에 대한 성분 분석법을 개발하였고, 분석법 밸리데이션을 통하여 특이성, 정확성, 정밀성을 갖춘 분석법이 확인되었다. 봉독의 cadaverine의 직선성은 $R^2=0.99$ 이상으로 측정되어 양호하게 분석되었고, 검출한계는 $0.3 \mu\text{g/ml}$, 정량한계는 $0.3 \mu\text{g/ml}$ 로 나타났으며, 회수율은 97.6~99.1%로 나타났다. Cadaverine의 일내 정밀도는 상대표준편차(RSD) 값이 0.25~0.44%였으며, 일간 정밀도는 0.25~1.25%로 상대표준편차 값이 5% 이내의 우수한 정밀성을 갖는 것으로 확인되었다. 이러한 분석법을 통해 지금까지 봉독에서는 보고된 바 없는 활성아민 cadaverine이 평균 $1.10 \pm 0.05 \text{ mg/g}$ 함유된 것으로 확인되었다. 따라서 본 연구는 봉독에서 cadaverine 함량과 cadaverine 분석법에 대한 직선성, 검출한계, 정량한계 및 회수율을 측정된 결과, 모두 만족스러운 결과를 나타냈으며, 봉독의 cadaverine에 대한 기초자료와 생리활성에 연구로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.