

CAPS 마커를 이용한 국내 개발 양송이 품종 구분

이화용¹ · 안혜진² · 오연이³ · 장갑열³ · 정종욱^{2*}¹충북대학교 농업생명환경대학 산림학과²충북대학교 농업생명환경대학 특용식물학과³국립원예특작과학원 버섯과Discrimination of Korean *Agaricus bisporus* cultivars using CAPS markersHwa-Yong Lee¹, Hyejin An², Youn-Lee Oh³, Kab-Yeul Jang³, and Jong-Wook Chung^{2*}¹Department of Forest Science, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea²Department of Industrial Plant Science and Technology, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea³Mushroom Science Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Eumseong 27709, Korea

ABSTRACT: The cleaved amplified polymorphic sequence (CAPS) marker uses a restriction enzyme recognition site resulting from single nucleotide polymorphisms and insertions and deletions on the DNA sequence. This technique does not require expensive equipment, the process is simple, and clear results can be obtained reliably. In this study, *Agaricus bisporus* cultivars SaeA, SaeDo, SaeHan, SaeYeon, SaeJeong, Dodam, Seolgang, Dahyang, Hogam, and Hadam developed in Korea were discriminated using four CAPS markers. Our results indicated that it is possible to distinguish the ten cultivars and determine the genetic diversity among them.

KEYWORDS: *Agaricus bisporus*, Button mushroom, CAPS marker, SNP

서 론

양송이(*Agaricus bisporus*)는 담자균류 주름버섯과의 식용버섯으로, 매우 연하고 독특한 맛과 향기가 뛰어나서 세계적으로 널리 소비되고 있으며(Ha *et al.*, 2001), 양식당의 소스의 부재료로 되어 음식의 색을 아름답게 하거나,

재료가 서로 엉기도록 하며, 맛과 향을 가미해 식욕을 증진시키거나, 영양가를 높여주는 등의 역할을 한다(Choi, 2007). 또, 항산화 활성이 높고 심혈관 건강을 개선하는 것으로 알려져 전세계적으로 소비되고 있다(Yun *et al.*, 2009; Jeong *et al.*, 2010). 이 버섯은 연 약 440만 톤이 생산되어 전 세계 버섯 생산량의 15%를 차지하며, 1978-2013년 동안 생산량이 30배 이상 증가하였다(Royse *et al.*, 2017). 이 버섯은 현재 유럽, 북아메리카, 인도, 중국 등에서 주로 재배되고 있으며(Kabel *et al.*, 2017), 최근에는 중국과 한국에서 재배가 증가하고 있다 (Sonnenberg *et al.*, 2011).

양송이는 이극성 교배 체계를 가지고 있으며(Raper *et al.*, 1972), 하나의 자실체에서 형성되는 약 95% 이상의 담자포자가 n+n형태로 다른 담자포자와의 교잡 없이 2차 균사로 성장할 수 있고(Summerbell *et al.*, 1989), 하나의 자실체에서 오직 0.5%가 다른 담자포자와 교잡이 가능한 단핵상태의 담자포자를 형성하여(Elliott, 1985), 교배육종에 어려움이 있다(Sonnenberg *et al.*, 2011). 현재 전세계의 다양한 양송이 품종은 1980년대 초 네덜란드에서 개발된 Horst U1 균주를 모본으로 개발된 것으로 알려져 있

J. Mushrooms 2021 December, 19(4):336-340
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2021.19.4.336>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

Hwa-Yong Lee (Professor), Hyejin An (Graduate student), Youn-Lee Oh (Researcher), Kab-Yeul Jang (Division manager), Jong-Wook Chung (Professor)

*Corresponding author

E-mail : jwchung73@chungbuk.ac.kr

Tel : +82-43-261-2524, Fax : +82-43-271-0413

Received October 26, 2021

Revised November 27, 2021

Accepted December 15, 2021

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.

다(Savoie *et al.*, 2013). 국내 양송이 품종의 개발은 2010년 이후 농촌진흥청(Rural Development Administration)에서 국내 자생 양송이계통과 외국 품종간 동형핵균주를 교잡하여 개발한 품종 ‘새아’를 시작으로 선발된 우수계통과 단포자를 교배한 ‘새정’, ‘새연’, ‘새도’를 육성하였다(Oh *et al.*, 2013). 현재 양송이는 전세계적으로 많이 생산, 소비되고 있기 때문에 품종 개발과 자원에 대한 평가가 지속적으로 필요하다.

1991년 식물신품종 육종의 권리를 보호하기 위하여 UPOV(International Union for the Protection of New Varieties of Plants) 협약이 수립되었고, 우리나라는 2002년 50번째로 정식 가입하였다. 또, 2010년 생물다양성협약(Convention on Biological Diversity) 제10차 당 사국 총회에서 유전자원의 접근 및 이익 공유에 관한 나고야의 정서가 채택되었다(Park *et al.*, 2016). 이에 따라, 많은 국가들이 국제 신품종 식물 보호 연합과 조약을 체결하고 육종가의 권리와 관련된 법률을 시행하고 있으며(Sonnenberg *et al.*, 2008), 재배 품종 사용에 대한 로열티의 수요도 증가할 것으로 예상된다(Min *et al.*, 2014). 식물과 버섯 품종의 구분은 형태학적 및 생화학적 특성이 기초가 된다(Hong *et al.*, 2013; Paisey and Abbas, 2015). 형태적 생화학적 특성은 주변 환경에 민감한 특성이 있기 때문에 품종의 구별에 한계가 있다(Kausrud *et al.*, 2012). 분자마커는 환경의 영향을 받지 않아 이러한 문제를 극복할 수 있다(López *et al.*, 2008; Menolli Junior *et al.*, 2010). 양송이 품종 및 균주에 대하여 restriction fragment length polymorphisms (RFLPs), random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers, amplified fragment length polymorphisms (AFLP), simple sequence repeats (SSRs), 그리고 single nucleotide polymorphisms (SNPs)와 같은 분자마커가 이용되었다(Moore *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2019; Foulongene-Oriol *et al.*, 2011; Oh *et al.*, 2020). 여러 분자마커 중 CAPS 마커는 DNA 염기서열 상의 SNP (single nucleotide polymorphism)와 Indel (insertion and deletion)로 인해 생기거나 사라진 제한효소 인식부위를

이용하는 방법으로(Konieczny and Ausubel, 1993), 고가의 장비를 필요로 하지 않으며, 과정이 간단하고, 안정적으로 명확한 결과를 얻어낼 수 있다는 장점이 있다(Kaundun and Matsumoto, 2003).

본 연구에서는 CAPS 마커를 이용하여 국내에서 개발한 양송이 품종 새아, 새도, 새한, 새연, 새정, 도담, 설강, 다향, 호감, 하담을 구분하여 각 품종간의 구별성과 유전적 다양성을 부여하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 DNA 추출

본 연구에서 사용된 국내 개발 양송이 품종 새아, 새도, 새한, 새연, 새정, 도담, 설강, 다향, 호감, 하담은 농촌진흥청 국립원예특작과학원 버섯과에서 분양 받아 사용하였다. 양송이 균사는 배양은 CDA배지를 이용하였다. CDA 배지는 퇴비 40 g을 증류수 1L에 끓인 퇴비 추출액에 malt extract 7 g, sucrose 10 g, agar 20 g을 첨가한 후 121°C에서 15분간 멸균하여 제조하였으며, 균사는 25°C에 4주 간 배양하였다. 배양된 양송이 균사는 3일간 동결 건조 시킨 후 Tissue LyserII (QIAGEN, USA)로 분쇄해 DNA를 추출하였다. DNA는 Plant SV mini kit (GeneAll, Korea)를 사용해 제시된 매뉴얼에 따라 추출하였다. 추출된 DNA는 spectrophotometer (BioTek, USA)을 사용해 25 ng/ul로 정량 하여 사용하였다.

CAPS 마커를 이용한 양송이 품종 판별

연구에 사용된 CAPS 마커는 제한효소 *BtsCI*를 이용하는 AB-gCAPs-017, 제한효소 *HpyCH4V*를 이용하는 AB-gCAPs-047, 제한효소 *ApoI*를 이용하는 AB-gCAPs-055, 제한효소 *Hpy188I*를 이용하는 AB-gCAPs-071을 이용하였다(Table 1).

국내 개발 10개의 양송이 품종으로부터 추출한 genomic DNA 20 ng을 주형으로 하여 4개의 마커서열을 증폭하였다. PCR반응은 95°C에서 2분, 다시 95°C에서 20초, 55°C에서 40초, 72°C에서 45초로 30사이클을 증폭한 후, 추

Table 1. CAPS marker information used in this study developed by An *et al.* (2021)

Marker	Primer sequence	Ref.	Alt.	Restriction enzyme
AB-gCAPs-017	Forward: GTTCTGGAAGTAAAGCGAAGAC Reverse: CGTAGAACACAAAGTCTTGCAG	G	A	<i>BtsCI</i>
AB-gCAPs-047	Forward: CTCTTAGCGAGGCGTTATCTTA Reverse: ATTGGAACATAATTCATTTGGGA	G	A	<i>HpyCH4V</i>
AB-gCAPs-055	Forward: GATCCCCAAATAATGAATGCTA Reverse: TATACTCCCGACGTAGAACAGC	A	T	<i>ApoI</i>
AB-gCAPs-071	Forward: AACCTCATTTCCCAACCTTATCT Reverse: AATATATTGGTCATTTGGAACCG	A	G	<i>Hpy188I</i>

가로 72°C에서 10분간 반응시켰다. 각 마커서열의 반응이 끝난 PCR산물에 각 제한효소를 처리하고 2.5% agarose gel에 전기영동하여 각 단편(fragment)의 패턴을 비교하였다. 또, 각 마커 서열에서 품종간 유전자형을 비교하여 phylogenetic tree를 작성하여 10개 양송이 품종을 구분하였다.

결과 및 고찰

CAPS 마커는 SNP 또는 indel에 의하여 생성되거나 소실되는 제한효소 인식부위를 탐지하여 이를 마커로 이용하는 방법이다(Konieczny and Ausubel, 1993). 이 CAPS 마커는 이형접합상태 유전자형의 분석이 가능한 공우성 마커이며, 서열을 분석할 필요가 없이 PCR 반응 후 제한효소를 이용한 간단한 과정을 통해 안정적으로 결과를 도출해 낼 수 있는 장점이 있다(Kaundun and Matsumoto, 2003). 본 연구에서는 CAPS 마커를 이용하여 국내 개발 10개 양송이 품종을 구분하고자 하였다.

본 연구에 사용된 마커서열은 사용된 모든 품종에서 증폭되었으며, 각 마커서열과 제한효소에 의한 밴드패턴으로 유전자형을 구분할 수 있었다. 제한효소 *BtsCI*에 의하여 절단되는 AB-gCAPs-017의 마커서열에 의하여 양송이 품종 호감은 새아, 새도, 새한, 새연, 새정, 도담, 설강, 다향, 하담과 다른 유전자형으로 구분되었다. 마커서열 AB-gCAPs-047은 제한효소 *HpyCH4V*에 절단되어 품종들이 3개의 그룹으로 구분되어 새아, 새도, 새한으로 구성된 그룹, 새연, 새정, 도담, 다향, 호감, 하담으로 구성된 그룹, 그리고 설강이 구분되었다. AB-gCAPs-055의 마커서열은 제한효소 *ApoI*에 의하여 새도, 새한으로 구성된 그룹, 새아, 새연, 새정, 도담으로 구성된 그룹, 새아, 설강, 다향, 호감, 하담으로 구성된 그룹, 마지막으로 AB-gCAPs-071의 마커서열은 제한효소 *HpyI88I*에 의하여

새아, 새한, 도담, 설강의 그룹, 새도, 새연, 하담으로 구성된 그룹, 새정, 다향, 호감의 그룹으로 구분되었다(Fig 1). 호감의 경우 마커서열 AB-gCAPs-017과 제한효소 *BtsCI*에 의하여 타 품종들과 구분이 되는 것을 확인 할 수 있었고, 설강은 마커서열 AB-gCAPs-047과 제한효소 *HpyCH4V*에 의하여 타 품종들과 구분되었다. 하지만 타 품종들은 하나의 마커로 하나의 품종이 구분되지 않았다.

본 연구에서 사용된 4개의 마커를 모두 이용하면 국내 개발 10개의 품종이 모두 구분되었다. AB-gCAPs-017에 의해서 호감이 다른 품종들과 구분되었고, AB-gCAPs-017와 AB-gCAPs-047를 동시에 이용하였을 때, 나머지 9개의 품종들 중 설강이 다른 품종들과 구분되었다. AB-gCAPs-017, AB-gCAPs-047, AB-gCAPs-055를 이용하였을 때, 나머지 8개 품종들 중 새아가 다른 품종들과 구분되었다. 마지막으로 AB-gCAPs-017, AB-gCAPs-047, AB-gCAPs-055, AB-gCAPs-071의 4개의 마커를 동시에 이용했을 때, 국내 개발 10개 품종 모두 구분되는 것이 확인되었다(Fig. 2).

CAPS 마커는 공우성 마커이며, 간단한 과정을 통해 안정적으로 결과를 도출해 낼 수 있는 장점이 있어(Kaundun and Matsumoto, 2003), 딸기, 배와 같은 작물에서 품종의 판별을 위해 개발되어왔다(Kunihisa *et al.*, 2003; Moriya *et al.*, 2007). 그리고 토마토, 보리, 고추 등과 같은 작물에서는 작물의 수량성, 병저항성 등 형질에 관련된 형질관련 유전자 기반 CAPS 마커도 개발되었다(Caranta *et al.*, 1999; Kuklev *et al.*, 2009; Okada *et al.*, 2012). 버섯의 경우 표고의 품종을 구분하고자 표고의 전장유전체 정보를 바탕으로 표고 품종 산마루1호, 산마루2호, 천장3호, 산백향, 설백향을 구분하기 위한 CAP 마커가 개발되었다(Moon *et al.*, 2017, Moon *et al.*, 2018, Moon *et al.*, 2021). 또, 표고의 A교배형을 구분하기 위한 CAPS 마커도 개발되어 있다.

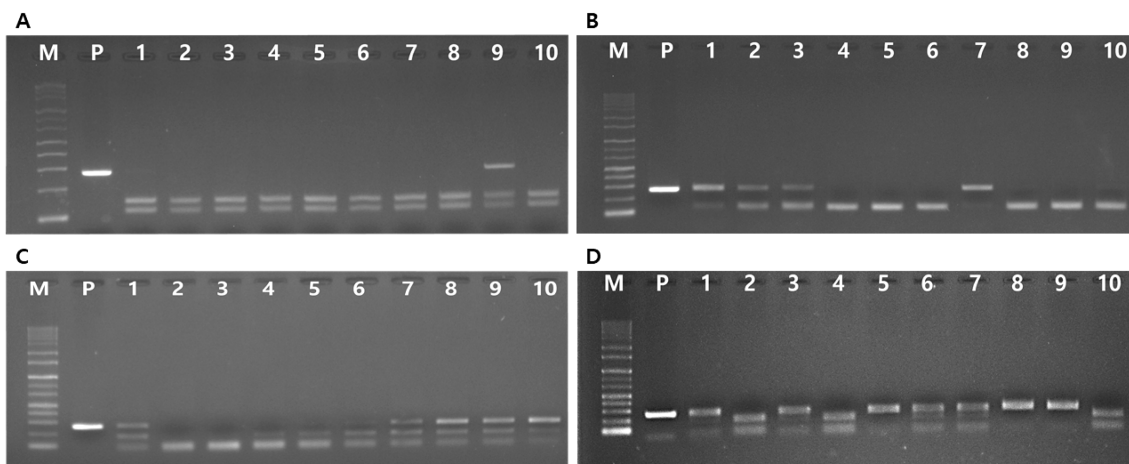


Fig. 1. Fragment patterns by CAPS markers (A, AB-gCAPs-017; B, AB-gCAPs-047; C, AB-gCAPs-055; D, AB-gCAPs-071). (Lane 1, SaeA; Lane 2, SaeDo; Lane 3, SaeHan; Lane 4, SaeYeon; Lane 5, SaeJeong; Lane 6, Dodam; Lane 7, Seolgang; Lane 8, Dahyang; Lane 9, Hogam; Lane 10, Hadam.).

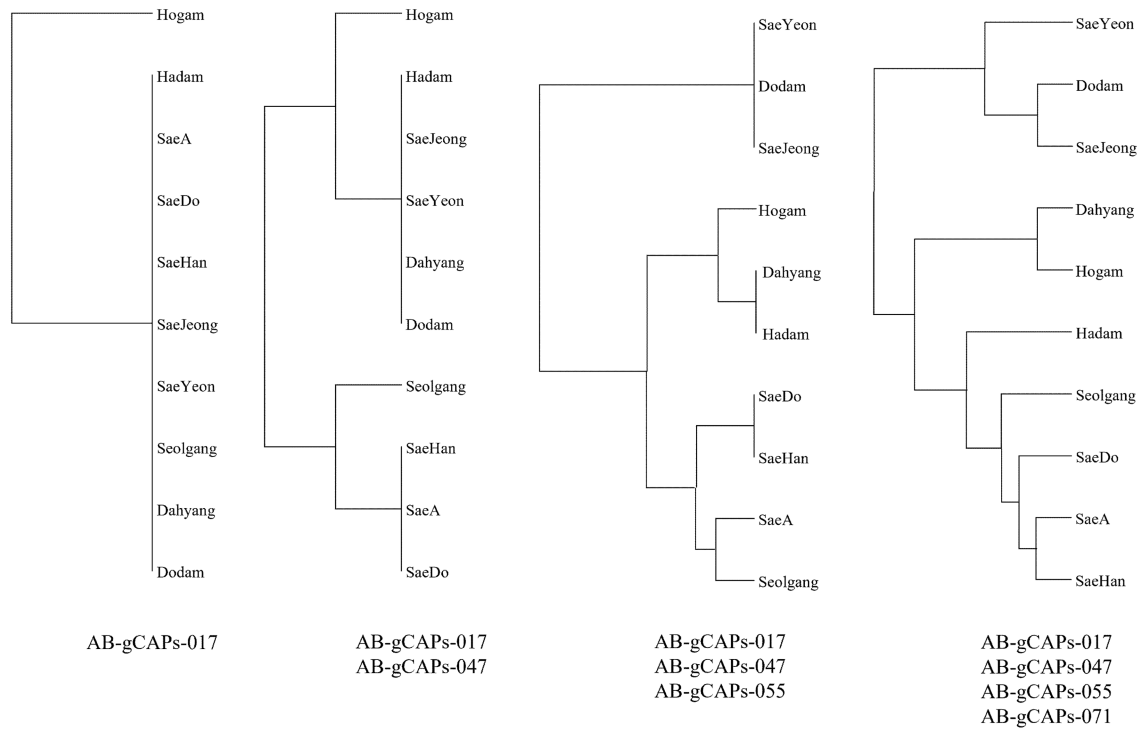


Fig. 2. Diagrammatic display of cultivar discrimination by phylogenetic trees using ten *Agaricus bisporus* cultivars at each stage by four CAPS markers.

본 연구에서 개발된 CAPS 마커는 국내 개발 양송이 품종의 구별성의 확보하여 품종의 보호에 기여할 수 있으며, 차후 양송이 육종에도 이용할 수 있을 것이다.

적 요

본 연구에서는 국내에서 개발된 국내에서 개발된 10개의 양송이 품종을 CAPS 마커를 이용하여 구분하였다. An 등 (2021)이 개발한 CAPS 마커 AB-gCAPs-017, AB-gCAPs-047, AB-gCAPs-055, AB-gCAPs-071을 이용하여 새아, 새도, 새한, 새연, 새정, 도담, 설강, 다향, 호감, 하담을 구분할 수 있었다. 본 연구의 결과는 국내 개발 양송이 품종에 대하여 품종간의 구별성과 유전적 다양성을 부여하여 품종 보호에 대한 분자생물학적 근거를 마련하였다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 Golden Seed 프로젝트 사업 (213007-05-5-SBH20)으로 수행되었습니다.

REFERENCES

An H, Lee HY, Shim D, Choi SH, Cho H, Hyun TK, Jo IH, Chung JW. 2021. Development of CAPS markers for evaluation of

genetic diversity and population structure in the germplasm of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *J Fungi* 7: 375.
 Caranta C, Thabuis A, Palloix A. 1999. Development of a CAPS marker for the *Pvr4* locus: A tool for pyramiding potyvirus resistance genes in pepper. *Genome* 42: 1111-1116.
 Choi SK. 2007. Quality characteristics of demi-glace sauce with pine mushroom and mushroom powder added. *The Korean Journal of Culinary Research* 13: 119-127.
 Elliott TJ. 1985. Genetics and breeding of species of *Agaricus*. In P. B. Flegg, D. M. Spencer & D. A. Wood. (ed.), *Biology and Technology of the Cultivated Mushroom*, Wiley. USA.
 Foulongne-Oriol M, Dufourcq R, Spataro, Devesse C, Broly A, Rodier A, Savoie JM. 2011. Comparative linkage mapping in the white button mushroom *Agaricus bisporus* provides foundation for breeding management. *Curr Genet* 57: 39-50.
 Ha JU, Koo SG, Lee HY, Hwang YM, Lee SC. 2001. Physical properties of fish paste containing *Agaricus bisporus*. *Korean J Food Sci Technol* 33: 451-454.
 Hong WJ, Khaing AA, Park YJ. 2013. Cultivar identification of Chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum*. Ramat.) using SSR markers. *Korean J Intl Agri* 25: 385-394.
 Jeong SC, Jeong YT, Yang BK, Islam R, Koyyalamudi SR, Pang G, Cho KY, Song CH. 2010. White button mushroom (*Agaricus bisporus*) lowers blood glucose and cholesterol levels in diabetic and hypercholesterolemic rats. *Nutr Res* 30: 49-56.
 Kabel MA, Jurak E, Mäkelä MR, de Vries RP. 2017. Occurrence and function of enzymes for lignocellulose degradation in commercial *Agaricus bisporus* cultivation. *Appl Microbiol Biotechnol* 101: 4363-4369.
 Kaundun SS, Matsumoto S. 2003. Development of CAPS markers based on three key genes of the phenylpropanoid pathway in

- tea, *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze, and differentiation between *assamica* and *sinensis* varieties. *Theor Appl Genet* 106: 375-383.
- Kausserud H, Heegaard E, Büntgen U, Halvorsen R, Egli S, Senn-Irlet B, Krisai-Greilhuber I, Dämon W, Sparks T, Nordén J, Høiland K, Kirk P, Semenov M, Boddy L, Stenseth NC. 2012. Warming-induced shift in European mushroom fruiting phenology. *Proc Natl Acad Sci U S A* 109: 14488-14493.
- Konieczny A, Ausubel FM. 1993. A procedure for mapping *Arabidopsis* mutations using co-dominant ecotype-specific PCR-based markers. *Plant J* 4: 403-410.
- Kuklev MI, Fesenko IA, Karlov GI. 2009. Development of a CAPS marker for the Verticillium wilt resistance in tomatoes. *Genetika* 45: 656-661.
- Kunihisa M, Fukino N, Matsumoto S. 2003. Development of cleavage amplified polymorphic sequence (CAPS) markers for identification of strawberry cultivars. *Euphytica* 134: 209-215.
- Lee HY, An HJ, Oh YL, Jang KY, Kong WS, Ryu HJ, Chung JW. 2019. Assessment of genetic diversity and population structure of commercial button mushroom (*Agaricus bisporus*) strains in Korea. *J Mushroom* 17: 171-178.
- López PA, Widrlechner MP, Simon PW, Rai S, Boylston TD, Isbell TA, Bailey TB, Gardner CA, Wilson LA. 2008. Assessing phenotypic, biochemical, and molecular diversity in coriander (*Coriandrum sativum* L.) germplasm. *Genet Resour Crop Evol* 55: 247-275.
- Menolli Junior N, Asai T, Capelari M, Paccola-Meirelles LD. 2010. Morphological and molecular identification of four Brazilian commercial isolates of *Pleurotus* spp. and cultivation on corn cob. *Braz Arch Biol Technol* 53: 397-408.
- Min KJ, Kim JK, Kwak AM, Kong WS, Oh YH, Kang HW. 2014. Genetic diversity of *Agaricus bisporus* strains by PCR polymorphism. *Kor J Mycol* 42: 1-8.
- Moon S, Hong CP, Ryu H, Lee HY. 2021. Development of cleaved amplified polymorphic sequence markers of *Lentinula edodes* cultivars Sanbaekhyang and Sulbaekhyang. *Kor J Mycol* 49: 33-44.
- Moon S, Lee HY, Kim M, Ka KH, Ko HK, Chung JW, Koo CD, Ryu H. 2017. Development of cleaved amplified polymorphic sequence markers for the identification of *Lentinula edodes* cultivars Sanmaru 1ho and Chunjang 3ho. *Kor J Mycol* 45: 114-120.
- Moon S, Lee HY, Ka KH, Koo CD, Ryu H. 2018. Development of a CAPS marker for the identification of the *Lentinula edodes* cultivar, 'Sanmaru 2ho'. *J Mushroom* 16: 51-56.
- Moore AJ, Challen MP, Warner PJ, Elliott TJ. 2001. RAPD discrimination of *Agaricus bisporus* mushroom cultivars. *Appl Microbiol Biotechnol* 55: 742-749.
- Moriya Y, Yamamoto K, Okada K, Iwanami H, Bessho H, Nakanishi T, Takasaki T. 2007. Development of a CAPS marker system for genotyping European pear cultivars harboring 17 S alleles. *Plant Cell Rep* 26: 345-354.
- Oh YL, Choi IG, Kong WS, Jang KY, Oh Mj, Im JH. 2020. Evaluating genetic diversity of *Agaricus bisporus* accessions through phylogenetic analysis using single-nucleotide polymorphism (SNP) markers. *Mycobiology* 49: 61-68.
- Oh YL, Jang KY, Jhune CS, Kong WS, Yoo YB, Shin PG, Seo JS. 2013. Quality changes in *Agaricus bisporus* varieties due to period and temperature during their storage. *J Mushroom Sci Prod* 11: 137-144.
- Okada Y, Kanatani R, Arai S, Ito K. 2002. A CAPS marker that distinguishes the barley yellow mosaic disease resistance locus *rym1* derived from Chinese landrace 'Mokusekko 3'. *J Inst Brew* 109: 103-105.
- Paisey EC, Abbas B. 2015. Morphological characteristics and nutritional values of wild types of sago mushrooms (*Volvariella* sp.) that growth naturally in Manokwari, West Papua. *Natural Sci* 7: 559-604.
- Park CW, Choi KJ, Soh EH, Koh HJ. 2016. Study on the future development direction of plant variety protection system in Korea. *Korean J Breed Sci* 48: 11-21.
- Raper CA, Raper JR, Miller RE. 1972. Genetic analysis of the life cycle of *Agaricus bisporus*. *Mycologia* 64: 1088-1117.
- Royse DJ, Baars JJP, Tan Q. 2017. Current overview of mushroom production in the world. In D. C. Zied & A. Pardo-Giménez. (ed.), *Edible and Medicinal Mushrooms: Technology and Applications*, Wiley-Blackwell. USA.
- Savoie JM, Foulongne-Oriol M, Barroso G, Callac P. 2013. Genetics and genomics of cultivated mushrooms, application to breeding of Agarics. In F. Kempken. (ed.), *Agricultural Applications*, Springer-Verlag. Germany.
- Sonnenberg ASM, Baars JJP, Kerrigan RW. 2008. Mushroom breeding: hurdles and challenges. In J. I. Lelley & J. A. Buswell. (ed.), *Proceeding of the 6th International Conference of the World Society for Mushroom Biology and Mushroom Products*, Bonn. Germany.
- Sonnenberg ASM, Baars JPB, Hendrickx PM, Lavrijssen B, Gao W, Weijn A, Mes JJ. 2011. Breeding and strain protection in the button mushroom *Agaricus bisporus*. In J. M. Savoie, M. Foulongne-Oriol, M. Largeteau & G. Barroso. (ed.), *Proceedings of the 7th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products*, Institut National de la Recherche Agronomique. France.
- Summerbell RC, Castle AJ, Horgen PA, Anderson JB. 1989. Inheritance of restriction fragment length polymorphisms in *Agaricus brunnescens*. *Genetics* 123: 293-300.
- Yun MJ, Oh SI, Lee MS. 2009. Antioxidative and antimutagenic effects of *Agaricus bisporus* ethanol extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 19-24.