

## 백색 양송이 신품종 ‘도담’ 육성

오연이 · 남윤걸 · 장갑열 · 오민지 · 임지훈 · 이슬기 · 공원식

농촌진흥청 국립원예특작과학원 버섯과

## Breeding a new white button mushroom cultivar ‘Dodam’

Youn-Lee Oh, Noun-keol Nam, Kab-Yeul Jang, Minji Oh, Ji-Hoon Im, Seul-ki Lee, and Won-Sik Kong

Mushroom Science Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Eumseong 27709, Korea

**ABSTRACT:** The button mushroom, *Agaricus bisporus*, is one of the most widely cultivated mushrooms. The domestic production of cultivated mushrooms in 2016 was approximately 10,173 tons, with a total value of 59 billion won. Currently, 10 cultivars have been developed; however, Korean farmers continue to demand new cultivars of mushrooms with improved quality. To breed superior lines, KMCC00754 and KMCC00775 were selected as mother strains from the 170 collected genetic resources. The putative homokaryotic strains were 25 strains from the 120 SSIs of KMCC00754 and six strains from the 120 SSIs of KMCC00775 selected by using the AbSSR45 marker. These homokaryotic strains were crossed with each other and the crossing was confirmed by SSR analysis. Seventy-four lines were crossed into 150 lines for a 50% ratio of crossing. Abs2-2015-16 was selected as a superior line by three cultivations. A new cultivar, ‘Dodam’, was developed in 2017.

**KEYWORDS:** *Agaricus bisporus*, Breeding, New cultivar,

### 서 론

세계에서 가장 널리 소비되는 양송이는 중국, 미국, 폴란드, 네덜란드에서 생산이 증가하고 있으며 (Jzsef *et al*, 2004; Sonenberg *et al*, 2011), 이에 따라 국외 품종개발은 Sylvan, Italspawn, Lambert 등에서 진행되고, 국가별로는 중국, 인도, 미국 등에서 진행되고 있다. 국내에서는 10,173톤으로 5번째로 가장 많이 생산되는 버섯이지만, 농가수는 631개 농가로 느타리농가 다음으로 2번째로 많은 농가들이 재배를 하고 있다(MAFRA, 2017). 국내 양송이의 산업의 규모로서 품종개발은 국립원예특작과학원

과 충남도농업기술원, 경북도농업기술원에서 진행하고 있으며, 2010년부터 교잡 육종을 시작하여 ‘새아’, ‘새도’ 등 품종이 개발되었고 (Oh *et al*, 2016), 현재 국내 품종 보급은 44%로 추정된다.

양송이의 세계적 산업규모에 비해 품종개발의 어려움으로 품종개발 연구는 점점 줄어들고 있다. 다른 버섯과 달리 양송이는 이차 자웅동주성(secondary homothalism)으로 한 담포자내에 두 개의 반수체핵(haploid nuclei)을 가지는 다핵성(multinucleate)을 지닌다. 이에 따라 교잡을 하지 않아도 포자내에 화합성을 가진 두 개의 핵이 임성을 띄어 대다수의 담자포자가 자실체를 형성한다. 이에 교잡을 위한 모균주인 동형핵균주 확보가 어렵고, 교잡 후 격쇠연결체(clamp connection)가 형성되지 않아 교잡을 확인하기가 어려워(Rapar and Raper, 1972), 분자생물학적 방법으로 SSR마커를 이용하여 분석하고 있다. 또한, 최초의 양송이 교잡품종 Horst U1이 1981년 개발된 이후 동종 품종의 조직분리나 단포자 분리에 의한 품종 육성으로 품종 간 유전적 다양성이 느타리 등에 비하여 월등히 떨어진다는 보고가 (Sonnensberg *et al*, 2011)있으며, 다른 버섯처럼 형태적으로 표현형의 한계를 가져 현재 재배적 특성의 구별성을 가지는 계통을 육성하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 2012년도에 개발한 ‘새도’품종의 색과 품질을 개선하고자, 국립원예특작과학원이 보유하고 있는

J. Mushrooms 2018 December, 16(4):279-286  
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2018.16.4.279>  
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853  
 © The Korean Society of Mushroom Science

\*Corresponding author

E-mail :

Tel : +82-43-871-5712, Fax : +82-43-871-5702

Received September 7, 2018

Revised November 2, 2018

Accepted December 10, 2018

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.

유전자원에서 우수자원을 선발하여 단단하고 갯색이 우수한 품종을 육성하였다. 이 품종이 개발됨에 따라 농가들의 소득은 향상되고, 국내육성 품종 보급 더욱 확대 될 것이다.

## 재료 및 방법

### 우수 자원 선발

국립원예특작과학원에서 보유중인 170점의 수집 유전자원 중에서 우수모본을 선발하기 위해 Oh *et al.* (2015) 문헌에 따라 재배를 하였다. 자원마다의 특성을 파악하기 위해 자실체는 갯이 완전히 피기 전, 농가에서 주로 생산되는 형태로 1:2주기 동안 수확하여 Oh *et al.* (2014) 문헌에 따라 수확량, 개체중, 갯의 직경·두께·색도·경도, 대의 두께·길이, 초발이일수를 측정하였다.

### 단포자 분리

버섯 포자는 90 × 15mm 페트리디쉬에 수확한 자실체를 1~2일 동안 거치한 뒤 수집하였다. 수집된 포자는 10<sup>-1</sup>~10<sup>-4</sup>로 증류수로 희석되어, 희석배수에 따라 CDA (Compost Dextrose Agar)배지에 도말하였다. 포자가 도말된 배지는 25°C 조건에서 배양하면서 단포자(Single spore isolates, SSIs)로부터 균사가 자라면서 새로운 배지에 계대하여 다시 배양하였다. 분리된 단포자들은 2주 동안 배양온도 25°C, 상대습도 65%에서 배양되었다.

### 모본(동형핵균주) 분리를 위한 SSR분석

단포자들 중 동형핵균주를 선발하기 위해 SSR(Simple Sequence Repeat) 분석을 실시하였다. DNA 추출은 Nam *et al.* (2017) 문헌에 따라 수행하고, -20°C에 보관하였다. PCR 반응은 Prime Taq Premix(Genetbio, G-3000)을 사용하여 GeneAmp® PCR System 9700(Applied Biosystems) 기계로 Table 1의 마커들을 사용하여 94°C(3 min) 이후 94°C(60 sec), 마커의 Tm(60 sec), 72°C (60 sec)을 한 cycle로 35회를 수행한 후 72°C(5 min) 처리하고 4°C 휴지조건으로 증폭하였다. 전기영동분석은 Nam *et al.* (2017) 문헌에 따라 진행하였다.

### 동형핵균주 교잡

교잡주를 형성하기 위해 SSR마커로 선발된 잠재적인 동형핵균주의 단포자(putative homokaryotic SSIs)는 CDA배지에서 교잡되었다. 각 동형핵균주의 단포자들은 10mm정도 사이로 균사체를 서로 대치배양하고, 균종이 만나는 부위 또는 균종이 만나서 솜털같이 생긴 부위를 떼어서 2차례 계대 배양하여 교잡형성이 된 자리를 선발하였다. 교잡여부를 확인하기 위해 Table 1의 SSR마커로 동형핵균주 선발과 같이 PCR분석을 하였다.

### 교잡주의 우수계통 선발

교잡이 확인된 균주 중에서 우수계통을 선발하기 위해 교잡주를 재배하였다. 교잡주에 대한 재배는 평균 500 g/box에 벗짚퇴비배지(10 kg/box) 상자재배와 균상재배로 모본선발과정과 동일한 조건으로 재배되었으며, 우수계통을 선발하기 위하여 3회에 걸쳐 실시하였다. 1차 재배는 전체 교잡주를 3반복으로 상자재배하고, 2차 재배는 선발된 교잡주를 10반복으로 상자재배하고, 3차 확대재배는 선발된 교잡주를 3반복으로 균상(3.08 m<sup>2</sup>/계통)에서 재배하였다. 선발된 균주는 198 m<sup>2</sup> 규모의 경주와 부여 농가에서 실증하였다.

## 결과 및 고찰

### 우수자원의 육종 모본 선발

우수자원을 선발하기 위해 양송이 수집균주 170점을 1월에 1반복으로 상자재배 하였다. 그 중에서 수확량, 자실체의 재배 및 형태적 특성을 조사하여 우수한 국내수집균주 KMCC00754, KMCC00775을 선발하였다(Table 2). 선발된 균주에서 포자를 수집하여 CDA배지에 도말하고 2주간 배양하여 단포자를 KMCC00754는 120점, KMCC00775은 120점 분리하였다. 양송이는 균주마다 동형핵균주를 선발할 때 활용할 수 있는 마커가 달라서 그때마다 동형핵균주 선발마커를 선발해야 하기에 개발된 25개 SSR마커 중 KMCC00754와 KMCC00775 균주의 단포자 DNA에 적용되는 AbSSR45 SSR마커를 본 연구에서 선발하여 사용하였다(Fig 1). 선발된 AbSSR45 마커로 PCR후 2% gel에 100 V, 100 min 전기영동 실시한 결과 KMCC00754 단포자 120점 중 동형핵균주 25점 선발하였고, KMCC00775 단포자 120점 중 동형핵균주 6점 선발하였다.

동형핵균주는 세포질내 같은 종류의 핵이 존재하는 것으로 일반적으로 자실체를 형성하지 못한다. 따라서 동형핵균주내에 자실체 발생을 조사하여 SSR마커로 선발된 동형핵균주를 재확인하였다. 그 결과 KMCC00754의 동형핵균주 25점에서 11점, 약 44%가 자실체를 발생하였고, KMCC00775의 동형핵균주 6점에서 3점, 약 50%가 자실체가 발생하였다. UMAR와 VAN (1999) 문헌에서는 교배형 유전자좌에 의해 버섯발달 조절 유전자발현이 완벽하게 조절되지 못하여 약 10~22%까지 동형핵 균주에서 버섯이 발생하는 것으로 보고되었다. 본 연구에서도 이를 근거로 동형핵균주가 자실체를 발생하였다고 사료된다.

### 선발된 육종모본을 이용한 교잡주 육성

선발된 동형핵균주를 각각 Mono-mono로 CDA배지에서 교잡하고, 교잡주의 균사체를 확보하여 DNA 분리 후 SSR마커(Table 1)로 PCR후 모세관전기영동으로 교잡여부를 확인하였다(Fig 2). 대부분의 교잡주는 200bp에서 3

**Table 1.** The list of primer in this study

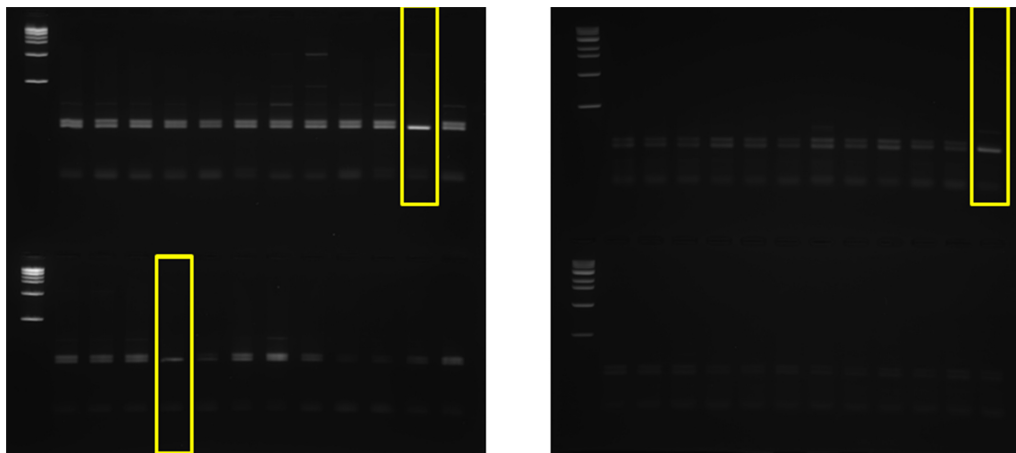
No.	Locus	Primer sequence (5'-3')	No.	Locus	Primer sequence (5'-3')
1	AbSSR02	F-CGGATCTGTTGAGAAAGACG R-CGACAACGACACCAACAATA	26	AbisSSR01	F-AAAGCCGTAGTTTATGTTAACG R-TGTTCTTGGGGACTATGGTA
2	AbSSR03	F-TCATTTGGTACTGGGCATGT R-CAACAAAAAGCGAAAGCAGT	27	AbisSSR02	F-GCAAGCGAGTGGGTATGA R-GGGAGAGTGCCTTTGTGAT
3	AbSSR04	F-ACAACAACCGCCACCACCAT R-CAGGCGTATATCGCTGTTGCTG	28	AbisSSR03	F-CTTCTCCGCTTCCACCAA R-ATCCCTATCAGCTCACGA
4	AbSSR05	F-ATCAACGACTTGATTGCTGAAG R-TGCGCCCACTACTAACTTACAA	29	AbisSSR04	F-GTTTGTTCGCGCTGGTTGA R-CTTGCTCTGCGGCTTTTC
5	AbSSR06	F-ACCACATTCTGGAAAACGAA R-TTAATGCTCTTGGCTTCGAC	30	AbisSSR05	F-CGGTTCAACTCACATTGCTCC R-GTACGGGCTTCCAACGACATC
6	AbSSR09	F-ACAAGAAGGGGAGGATTGAG R-ATAGTCGCGTAACCCCTCTT	31	AbisSSR06	F-CCGAGATTCCGAGAGCATAGC R-GGCAACCGTATTCTCAGCATG
7	AbSSR10	F-TCTACCAGGCACATCCTCTC R-GACGTTGTTCCGTCGTTTAC	32	AbisSSR07	F-GCGCCTGATTTGGAACAAGA R-CCAGCCCTCCGAAAGGTAAC
8	AbSSR12	F-GACAGCGATGATGAGGAGTT R-CCGTTGCTGTAAAAAGTGGTT	33	AbisSSR08	F-AAATCTGGTCGCTCCTTAC R-CAAAAATTTCTGCATCAC
9	AbSSR13	F-CGGAAGACAGCGATAATATG R-CCAGAGGACTTACCACCTTT	34	AbisSSR09	F-CTCTTGCTTTCTGTTGTCTGT R-GAAGGAGCGAGGAGTAATG
10	AbSSR14	F-CGTCAAGGAGAACAAGGAGA R-CCCGTCCAAATCACATTAAC	35	AbisSSR10	F-TGTAAAACCTGAATGTAAACGTCA R-ACGAGACCCTACAGTATGTGAAT
11	AbSSR19	F-TTTAGTTCTGGACAGACCGTTT R-CAAACGTATATCAACGACAGGA	36	AbisSSR11	F-ATAAAAAAGCATAATCACAAATG R-TTAAGGTGGGTATAAGTACGTAG
12	AbSSR23	F-TTTGGGATGTGACCAGACTT R-AACGTTGGGTTCAATGAAAA	37	AbisSSR12	F-GCTGGAGGTGTTGTAGGTGGTA R-AGCTGCTCTCGATAACGAAGGT
13	AbSSR31	F-CGCGTTATCGATTAAGCAAA R-GTTCGAGGTGGAAGAAGGAG	38	AbisSSR13	F-ACTAGGGAGCCCAAACTCACAA R-TCGGACGACAGATTTCTTACA
14	AbSSR32	F-TTCCTAGTCGAGGTCCTGGT R-ATTGCTGGTTCGAGTGTGAG	39	AbisSSR14	F-GAACAAAGCTCAAGAGCTGTGGC R-ACTTCGCTCAGAGTATCGTTGC
15	AbSSR33	F-TCGGTAGAAGTTGTGGAAGC R-GGCGTTGGACTAGAAATCAT	40	AbisSSR15	F-GCAGGTCCAGTGTGAACGG R-TTCGGTAAGCATCTTTTTGTGA
16	AbSSR36	F-CGTTGATGGAGTTGACTGAG R-ACAACAAAATCGTCGTGAGG	41	AbisSSR16	F-CGACGATGGTCTCTAGCACG R-CGGCTTCTGAACAGGGACTT
17	AbSSR39	F-GAGGCCAAAACCGGAAATAC R-CGTTCAAGCTTCCCAATTCT	42	AbisSSR17	F-ATCCAATTCACCAACCAGC R-GATGAGTCAATCTATATATCCTTATATCA
18	AbSSR42	F-CGCTGCTTCTTCGACTAAC R-TGCTATGGGAGAGGACATC	43	AbisSSR18	F-GTATGGTGGATTTGGGAGTGAT R-AAGGAGAGAGAACGACACGAAC
19	AbSSR43	F-TCGCATCAACATCAACATCA R-AGGCGGGAAGGTTACAGATT	44	AbisSSR19	F-GGGGAGAGGATAGTATTGAG R-TACATTCTGTACATTCTGCGGA
20	AbSSR45	F-CACCTTACACGGCCATTGAT R-AAAACCTTCGGGCATTTCCCTT	45	AbisSSR20	F-GGGTAGGTAGATAAGCGAGAAA R-ACAAACATATTTCGGTTGATTCA
21	AbSSR49	F-ACCCTGGCTTGTTACTGCAA R-CATGGGCGTGTAATGAGTG	46	AbisSSR21	F-GACTGTAATCTTTGAGAGTTGGG R-GCTAGGGATGAATGAAACTTGT

**Table 1.** The list of primer in this study

No.	Locus	Primer sequence (5'-3')	No	Locus	Primer sequence (5'-3')
22	AbSSR50	F-GAGGGATTAACGGACTGTTT	47	AbisSSR22	F-ATGCCGTTGTTTCATTGCC
		R-GCTGCTGTCAGGAACATAAA			R-CCTTATCATACTCATCTTCATCCTG
23	AbSSR53	F-TGATAAACCAGAGGACCGAAA	48	AbisSSR23	F-CTTTTCAGGGGAAGACAACG
		R-CACATCTCTACCCCCTCTCG			R-ATCCGATTCGGCACAGTATG
24	AbSSR54	F-TGACCAAAGCTCAAACAGCA	49	AbisSSR24	F-GGCACGTCAAGTATCTTTGGC
		R-GTCACGGATCATCGGTTTCT			R-GCTGGGCAGGCTGACTCAT
25	AbSSR56	F-CACCACTAGCAGCGTCAGAG	50	AbisSSR25	F-AGTCCTGGTCACCGTCTCAGA
		R-CATCGCAATAGGGGCATAAC			R-TGGAAGGTGGAATGGACGATTC

**Table 2.** The agronomic and morphological characteristics of the selected strains

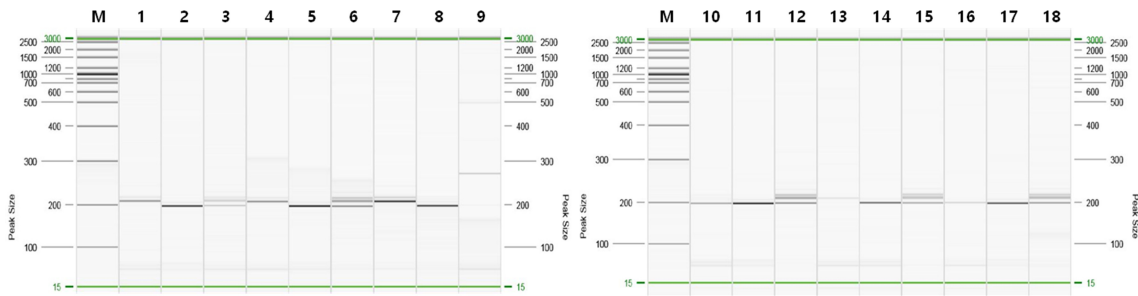
Lines		KMCC00754	KMCC00775
Yield(g/10kg compost)	Total yield	1585	1185.4
	Mushroom weight	23.0(5.9)	21.4(6.0)
	Number of mushrooms	69	51
Agronomic traits(days)	Mycelial incubation period	22	22
	Earliness	21	23
Morphological traits(mm)	Diameter of Pileus	47.3(3.0)	46.9(0.7)
	Thickness of Pileus	25.1(2.9)	27.3(2.2)
	Thickness of Stipe	16.6(1.1)	15.5(1.3)
	Length of Stipe	25.1(5.4)	26.0(5.4)
	Hardness of Pileus	4.8(1.1)	4.9(0.5)
	Hardness of Stipe	4.4(0.8)	3.8(1.1)
	Whitness Index of Pileus	64.1(7.2)	57.7(6.2)
	Whitness Index of Stipe	39.4(14.0)	30.9(9.7)



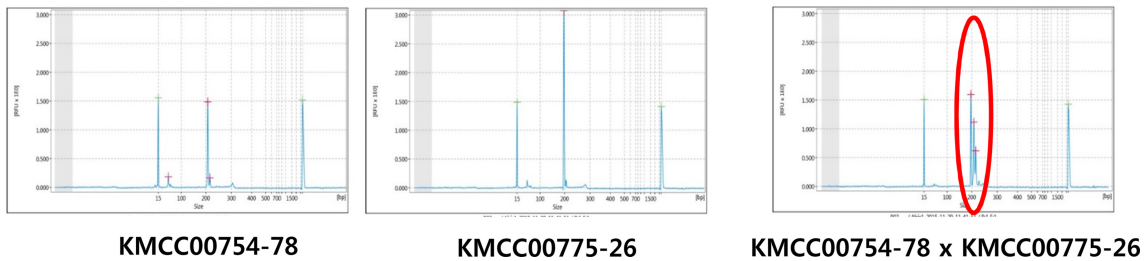
**Fig 1.** The selection of the homokaryons using the AbSSR45 marker (Left KMCC00754; Right KMCC00775).

개의 peak를 보였다(Fig 3). 이에 교잡주 150점 중 74점의 교잡을 확인하였으며, 교잡율은 약 50%(=74/150)으로 나타났다. KMCC00754-11, 25, 40, 78, 83, 91, 93, KMCC00775-12, 26, 91의 교잡이 잘 되는 동형핵균주 중

자실체발생을 안하는 KMCC00754-11, 78, KMCC00775-26, 91 4균주를 선발하였고, KMCC00754-78와 KMCC00775-26은 서로 버섯이 발생되지 않은 동형핵균주끼리 교잡되었다는 것을 확인하였다.



**Fig 2.** The confirmation of the crossing with homokaryons(KMCC00754 and KMCC00775) by the capillary electrophoresis (M: 1kb marker; 1: KMCC00754-11(homokaryon) ; 2: KMCC00775-12(homokaryon) ; 3: KMCC00754-11XKMCC00775-12(crossed line) ; 4: KMCC00754-12 ; 5: KMCC00775-26 ; 6: KMCC00754-12XKMCC00775-26 ; 7: KMCC00754-78 ; 8: KMCC00775-12 ; 9: KMCC00754-78XKMCC00775-12 ; 10: KMCC00754-78 ; 11: KMCC00775-26 ; 12: KMCC00754-78XKMCC00775-26 ; 13: KMCC00754-91 ; 14: KMCC00775-48 ; 15: KMCC00754-91XKMCC00775-48 ; 16: KMCC00754-91 ; 17: KMCC00775-52 ; 18: KMCC00754-91XKMCC00775-52).



**Fig 3.** The band size of the PCR products using the AbSSR45 marker.

**교잡주의 특성 평가**

교잡이 확인된 74점의 교잡주에 Ab2-2015 계통번호를 부여하고(Table 3), 이 균주들을 벚짚발효퇴비배지를 이용하여 16°C, 85% 조건으로 상자재배하였고, 자실체가 발생한 31개의 계통과 선발된 모균주 그리고 대조구인 ‘새도’ 품종과 같이 재배 및 형태적 특성을 평가하였다. 이때, 서로 버섯이 발생되지 않은 동형핵균주(KMCC00754-78 x KMCC00775-26)끼리 교잡되었던 Abs2-2015-50 균주는 자실체가 발생되지 않았다. 이 결과는 앞에서 이야기한 UMAR와 VAN (1999) 문헌에서와 같이 교배형 유전자좌에 의해 버섯발달 조절 유전자발현이 완벽하게 조절되지 못하여서 발생할 수 있다고 생각되며, 또한 아직까지 SSR 마커가 동형핵 균주 선발과 교잡을 확인하기에 한계가 있는 것으로 사료된다.

1-2주기 수확한 버섯의 특성평가는 Table 4와 같다. Ab2-2015계통에서 수확량을 기준으로 Abs2-2015-3, 9, 12, 16, 25, 34, 37, 40, 44, 45, 74 등 11점이 1차 선발되었다. 선발된 계통은 2차로 상자재배하여 16°C, 85% 조건으로 재배하여 형태 및 재배적 특성으로 Abs2-2015-16, 26, 44 등 3점을 선발하였다. 이를 균상재배하여 형태 및 재배적 특성을 평가한 결과, Ab2-2016-16은 품질면에서 경도가 높은 단단한 계통으로 선발되었고, Ab2-2016-44는 수확량 측면에서 다발성 계통으로 선발하였다. 이

후 경주와 부여 농가에서 현장실증을 하여 두 계통 사이에 균사배양과 수량성은 차이가 없었으며, Abs2-2015-16이 단단하면서도 품질이 좋다고 평가되어 최종 선발하였고, 2017년에 농촌진흥청 직무육성심의회를 통과하여 신품종 ‘도담’을 육성하였다(Fig 4).

**적 요**

양송이는 전 세계적으로 가장 많이 재배하는 버섯으로 특용작물생산실적의 2016년 통계자료에 의하면 국내 생산량은 10,173톤, 국내 생산액은 590억원이다. 현재 10개의 품종이 개발되었지만, 농업인들은 계속적으로 품질이 우수한 버섯 신품종을 요구하고 있다. 이에 우량계통을 육성하기 위해 수집된 170개의 유전자원 중에서 KMCC00754와 KMCC00775은 모균주로 선발되었다. 그리고 KMCC00754에서 120점의 단포자에서 동형핵균주로 추정되는 균주를 25점 선발하였고, KMCC00775에서는 120점의 단포자에서 6점을 AbSSR45마커를 가지고 각각 선발하였다. 이 동형핵균주로 교잡주를 육성하여 다시 SSR마커로 분석하였다. 그 결과 50%의 교잡율로 150점의 교잡주에서 74점이 교잡된 것을 확인하였으며, 이 균주들을 3회 재배하고 특성을 평가하였다. 최종적으로 Abs2-2015-16을 우량계통으로 선발하여 2017년에 신품

**Table 3.** The list of the crossed lines with homokaryons of KMCC00754 and homokaryons of KMCC00775.

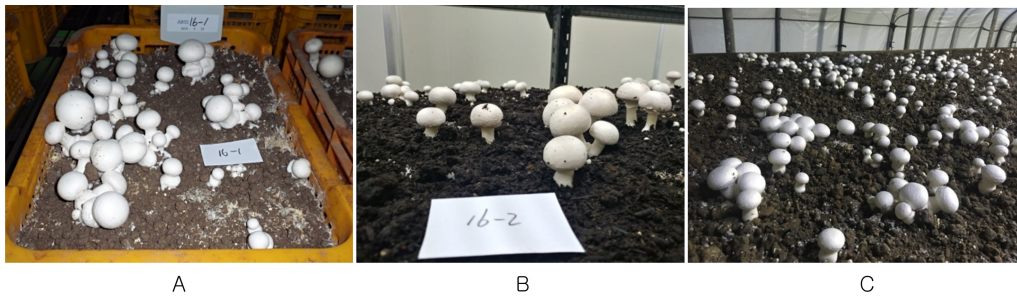
Crossed lines		Crossing		Crossed lines		Crossing	
Abs2-2015-1	KMCC00754-3	x	KMCC00775-12	Abs2-2015-38	KMCC00754-58	x	KMCC00775-91
Abs2-2015-2	KMCC00754-4	x	KMCC00775-12	Abs2-2015-39	KMCC00754-67	x	KMCC00775-12
Abs2-2015-3	KMCC00754-11	x	KMCC00775-12	Abs2-2015-40	KMCC00754-69	x	KMCC00775-12
Abs2-2015-4	KMCC00754-11	x	KMCC00775-27	Abs2-2015-41	KMCC00754-69	x	KMCC00775-26
Abs2-2015-5	KMCC00754-11	x	KMCC00775-48	Abs2-2015-42	KMCC00754-69	x	KMCC00775-48
Abs2-2015-6	KMCC00754-11	x	KMCC00775-52	Abs2-2015-43	KMCC00754-69	x	KMCC00775-91
Abs2-2015-7	KMCC00754-11	x	KMCC00775-91	Abs2-2015-44	KMCC00754-72	x	KMCC00775-12
Abs2-2015-8	KMCC00754-12	x	KMCC00775-91	Abs2-2015-45	KMCC00754-74	x	KMCC00775-12
Abs2-2015-9	KMCC00754-13	x	KMCC00775-12	Abs2-2015-46	KMCC00754-74	x	KMCC00775-26
Abs2-2015-10	KMCC00754-13	x	KMCC00775-48	Abs2-2015-47	KMCC00754-75	x	KMCC00775-12
Abs2-2015-11	KMCC00754-13	x	KMCC00775-52	Abs2-2015-48	KMCC00754-75	x	KMCC00775-91
Abs2-2015-12	KMCC00754-14	x	KMCC00775-12	Abs2-2015-49	KMCC00754-78	x	KMCC00775-12
Abs2-2015-13	KMCC00754-14	x	KMCC00775-91	Abs2-2015-50	KMCC00754-78	x	KMCC00775-26
Abs2-2015-14	KMCC00754-16	x	KMCC00775-12	Abs2-2015-51	KMCC00754-78	x	KMCC00775-27
Abs2-2015-15	KMCC00754-16	x	KMCC00775-27	Abs2-2015-52	KMCC00754-78	x	KMCC00775-48
Abs2-2015-16	KMCC00754-16	x	KMCC00775-48	Abs2-2015-53	KMCC00754-78	x	KMCC00775-52
Abs2-2015-17	KMCC00754-16	x	KMCC00775-52	Abs2-2015-54	KMCC00754-79	x	KMCC00775-12
Abs2-2015-18	KMCC00754-16	x	KMCC00775-91	Abs2-2015-55	KMCC00754-79	x	KMCC00775-48
Abs2-2015-19	KMCC00754-22	x	KMCC00775-12	Abs2-2015-56	KMCC00754-79	x	KMCC00775-91
Abs2-2015-20	KMCC00754-22	x	KMCC00775-26	Abs2-2015-57	KMCC00754-81	x	KMCC00775-12
Abs2-2015-21	KMCC00754-22	x	KMCC00775-91	Abs2-2015-58	KMCC00754-83	x	KMCC00775-12
Abs2-2015-22	KMCC00754-25	x	KMCC00775-12	Abs2-2015-59	KMCC00754-83	x	KMCC00775-26
Abs2-2015-23	KMCC00754-25	x	KMCC00775-26	Abs2-2015-60	KMCC00754-83	x	KMCC00775-27
Abs2-2015-24	KMCC00754-25	x	KMCC00775-27	Abs2-2015-61	KMCC00754-83	x	KMCC00775-48
Abs2-2015-25	KMCC00754-25	x	KMCC00775-48	Abs2-2015-62	KMCC00754-83	x	KMCC00775-91
Abs2-2015-26	KMCC00754-25	x	KMCC00775-52	Abs2-2015-63	KMCC00754-91	x	KMCC00775-12
Abs2-2015-27	KMCC00754-25	x	KMCC00775-91	Abs2-2015-64	KMCC00754-91	x	KMCC00775-26
Abs2-2015-28	KMCC00754-40	x	KMCC00775-12	Abs2-2015-65	KMCC00754-91	x	KMCC00775-27
Abs2-2015-29	KMCC00754-40	x	KMCC00775-26	Abs2-2015-66	KMCC00754-91	x	KMCC00775-48
Abs2-2015-30	KMCC00754-40	x	KMCC00775-27	Abs2-2015-67	KMCC00754-91	x	KMCC00775-52
Abs2-2015-31	KMCC00754-40	x	KMCC00775-48	Abs2-2015-68	KMCC00754-91	x	KMCC00775-91
Abs2-2015-32	KMCC00754-40	x	KMCC00775-52	Abs2-2015-69	KMCC00754-93	x	KMCC00775-12
Abs2-2015-33	KMCC00754-40	x	KMCC00775-91	Abs2-2015-70	KMCC00754-93	x	KMCC00775-27
Abs2-2015-34	KMCC00754-46	x	KMCC00775-12	Abs2-2015-71	KMCC00754-93	x	KMCC00775-48
Abs2-2015-35	KMCC00754-46	x	KMCC00775-26	Abs2-2015-72	KMCC00754-93	x	KMCC00775-52
Abs2-2015-36	KMCC00754-46	x	KMCC00775-91	Abs2-2015-73	KMCC00754-96	x	KMCC00775-12
Abs2-2015-37	KMCC00754-58	x	KMCC00775-12	Abs2-2015-74	KMCC00754-107	x	KMCC00775-12

\*Abbreviation: Abs2-2015 means *Agaricus bisporus*-Year of crossing

**Table 4.** The agronomic and morphological characteristics of the selected strains in the crossed lines.

Strains <sup>a</sup>	NM(EA) <sup>b</sup>	Yield(g)	MW(g) <sup>c</sup>	DP(mm) <sup>d</sup>	TP(mm) <sup>e</sup>	TS(mm) <sup>f</sup>	LS(mm) <sup>g</sup>	P WI <sup>h</sup>	S WI <sup>i</sup>	HP(N) <sup>j</sup>	HS(N) <sup>k</sup>	Earliness
KMCC00754	56.3±29	1279.4±503.6	24.6±5.8	45.3±1.2	25.3±1.3	18.1±2.4	28.4±4.5	67.2±1.7	44.2±6.8	4.4±0.3	4.8±0.8	36±1.7
KMCC00775	54±18.5	1349.8±223.2	26.2±5.3	46.4±1.2	25.3±1	20±0.3	31±4.3	63.7±3	44.5±3.1	4.5±0.8	5±0.5	38±0
Abs2-2015-1	38±11.8	1188.8±194.8	32.5±5.8	46±1.5	25.8±0.2	23.2±2	29.4±1.6	60.2±8.9	51.6±6.2	4.6±0.7	4.8±0.5	37.5±0.7
Abs2-2015-2	39.7±9.1	1074.7±172.3	27.5±3.5	46±1.4	25.5±1.7	20.1±0.9	28.7±0.7	67±1.5	49.7±2.9	4.4±0.5	4.9±0.8	35.7±0.6
Abs2-2015-3	44.3±10.5	1296.3±164.1	29.8±3.4	47.9±0.8	26.8±2	20.9±1.1	27.9±2	64.6±2.1	43.6±2.2	3.8±0	5±0.2	36.5±2.1
Abs2-2015-9	43±1	1138.4±51.5	26.5±0.8	46.8±1.1	24.6±0.7	23.3±4	30.9±2.5	69.4±1.6	49.2±5.8	4.6±0.7	5.1±0.5	37±0
Abs2-2015-12	47.3±3.5	1207.3±141.3	25.5±1.3	44.8±1.3	25.3±2	21.1±2.4	30.9±1.9	70.7±2.1	46.1±3.3	4.1±0.1	4.4±0.3	36±1.7
Abs2-2015-14	38.3±2.3	1035.4±152.9	26.9±2.3	45.3±2.1	24.9±0.3	20.3±1.1	27±0.9	69.4±3.9	50±2	4.4±0.7	4.8±0.6	37.3±1.2
Abs2-2015-16	53.7±1.5	1459.7±28.4	27.2±1.1	47.5±1.7	25.1±0.4	20.2±1.9	33.5±2.1	66.8±3.6	45.9±4	4.3±0.4	4.6±0	36±1.4
Abs2-2015-17	39.7±14.3	999.1±278	25.8±2.7	46.7±1.2	24.1±1.5	23.6±2.2	26.8±1.7	67.7±1	50.7±12	4.6±0.5	4.7±0.4	-
Abs2-2015-18	29.3±15.9	881.9±434.6	31.1±3	46.7±1.3	26±1.5	21.9±2.4	25.8±5.1	63.7±2.1	55.4±6.1	4.5±0.3	4.5±0.5	-
Abs2-2015-19	37±19.3	1071.1±447	30.9±5.5	46.3±1.1	24.7±2	24.1±4.7	26.9±3.5	67±5.8	52.4±5.4	4.2±1.1	4.9±0.7	36.5±2.1
Abs2-2015-22	39.7±11.7	1110.2±108.3	29±5.1	46.3±1.4	24.5±0.9	19.1±2.3	30.8±2.1	69.9±1.1	46.9±4.5	3.9±0.6	4.2±0.9	36±1.7
Abs2-2015-25	39±6.1	1112.9±130.6	28.6±1.1	45.9±0.8	26.8±0.9	21.2±1.2	29.3±2.2	63.8±4.9	52.1±4	3.9±0.4	4.3±1.2	36±1.4
Abs2-2015-28	35.3±14	900.2±224.9	26.6±4.4	46±0.8	24.4±0.6	19±1.3	34.7±6.2	67.7±4.9	43.4±3.5	4.4±0.8	4.5±0.5	36±0
Abs2-2015-29	38.7±11.6	992.6±177.3	26.2±2.9	45.4±2.2	25±2.3	19.5±1.1	30.5±1.4	69.3±2.2	48.4±7	4.4±0.4	4±0.5	37.7±2.3
Abs2-2015-30	49.5±20.5	1233.7±395.4	25.5±2.6	46.6±1.7	24.6±1.1	17.9±0.4	32.6±3.8	70.1±3.5	43±0	3.8±0	4.3±0.9	-
Abs2-2015-31	49.7±17.5	1165.6±289.7	24.1±3.4	47.2±1.3	25.8±1.7	19.6±0.7	29.2±1.8	68.8±3.8	48.2±3.3	4.5±0.7	4.5±0.5	-
Abs2-2015-32	39±15.1	1097.1±422.9	28.1±0.9	46.5±2.4	23.7±1	23.9±1.8	28±2.9	68.8±3.1	44.6±11.1	4.6±0.5	4.9±0.7	37.5±0.7
Abs2-2015-33	36.7±9.5	1061.1±125.4	29.8±4.9	46.7±0.9	24.8±1.9	23.3±0.8	25±2.8	63±7.1	55.3±0.3	4.6±0.8	4.3±0.3	-
Abs2-2015-34	45.7±15.5	1265.8±315.1	28.5±3.8	46.4±2.1	25.1±1	21.2±1.7	29.9±2.1	64.7±3	51.9±2	4.5±1.1	4.7±0.4	35.5±0.7
Abs2-2015-37	53±3	1521.2±118.2	28.7±1.3	47.8±0.9	25.4±0.6	23±1.9	30.8±3.7	65.2±4.6	44.5±3.7	4.4±0.3	4.5±0.4	38±0
Abs2-2015-39	27.7±11.1	899.2±184.3	34.7±8.4	46.4±1.4	25.8±1.4	27.9±5.5	27±5.1	65.8±3.6	49.7±2.3	4.6±1.2	4.6±0.5	-
Abs2-2015-40	52.3±15	1283.9±246.3	25.1±3.7	48.9±0.9	24.8±0.2	21.8±2.1	27.7±4.3	66.8±1.2	46.2±1.8	4.5±1.1	4.5±0.4	37±1.7
Abs2-2015-44	40±18.2	1057±377.9	27.2±4.2	46.3±1.9	25.7±1.5	22.3±1.8	26.1±1.4	69.9±5.9	49.2±6.2	4.1±0.9	4.6±0.4	37±2
Abs2-2015-45	47.5±4.9	1264.9±124.7	26.9±5.4	45.1±1.3	25.8±1	20.5±0.5	32.6±1.7	69.8±2	47.2±2.4	4±0	3.7±0	35±0
Abs2-2015-47	44.3±13.7	1231.2±231.2	28.6±4.5	46.3±1.3	24.4±1.8	20.8±6.8	23.3±2.6	59.4±14.6	47.6±12.5	3.9±1.6	4.6±0.7	-
Abs2-2015-49	40±7.8	1119.3±135.7	28.4±4.8	45.7±0.8	24.8±0.8	19±1.4	24.8±2.4	64.2±3.9	45.6±3.7	4.1±0.5	4.8±0.9	35.3±0.6
Abs2-2015-54	49±6	1171.1±90.4	24.2±3.7	46.1±1.5	24.3±1.5	21.2±2	30.7±3.2	71±2	48±7.2	4.2±0.6	4.3±0.5	37.7±0.6
Abs2-2015-57	28.3±4.7	946.5±179.4	33.5±3.6	46.4±1.8	24.4±2.7	23±4.4	24.8±3.5	66.8±3.7	54.4±4.9	4.7±0.7	4.4±0.7	38±0
Abs2-2015-58	38±13.1	1027±269.2	27.9±4.3	47±0.9	26.1±1.3	19.9±1.3	31.9±0.9	65.4±5.5	46.4±5.6	4.5±0.2	5.3±0.5	35.5±0.7
Abs2-2015-73	33.3±7.5	1055.2±98.1	32.4±4.9	46.6±4.5	26.5±1	20.3±2.9	28.2±2.7	61.7±4.1	45.6±6.8	4.7±0.7	4.7±0.5	37±1
Abs2-2015-74	48±19.3	1242.6±217.5	28.3±9.1	46.3±0.9	26±1.3	22.2±1.3	25.6±3.8	65.6±4	50.9±4.7	4.5±0.1	5.2±0.1	36±1.7
Saedo	47.7±21.1	1173.2±337.8	25.8±4.1	46.7±1.7	24.1±0.8	21.6±2.2	29.6±3.2	66.3±2.1	47.7±5.8	4.9±0.5	5.4±0.6	36.7±1.5

\*Abbreviation: <sup>a</sup> KMCC00754 and KMCC00775 are mother strains. The year of crossing is omitted in crossing lines. <sup>b</sup> Number of mushroom  
<sup>c</sup> Mushroom Weight <sup>d</sup> Diameter of Pileus <sup>e</sup> Thickness of Pileus <sup>f</sup> Thickness of Stipe <sup>g</sup> Length of Stipe <sup>h</sup> Whiteness Index of Pileus <sup>i</sup> Whiteness  
Index of Stipe <sup>j</sup> Hardness of Pileus <sup>k</sup> Hardness of Stipe



**Fig 4.** Selection of superior line through three button mushroom cultivations (A: Superior line in 1<sup>st</sup> box cultivation; B Superior line in 3<sup>rd</sup> block cultivation; C Superior line in mushroom farm)

중 ‘도담’이 육성되었다.

### 감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품 기술기획평가원의 Golden Seed 프로젝트 사업(213007-05-2-SBJ10)의 지원을 받아 연구되었습니다.

### REFERENCES

Mafra. 2017. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs 2016.  
 Jzsef G, David MG, Daniel JR. 2004. Molecular evolution of *Agaricus* species based on ITS and LSU rDNA sequences. *Mycol Progress*. 3: 157-176.  
 Nam YK, Kong WS, Jang KY, Shin PG, Oh MJ, Im JH, Koo CD, Oh YL. 2017. Analysis of Inter-simple sequence repeat (ISSR) markers in cultivars and collected strains of

button mushroom (*Agaricus bisporus*). *J Mushrooms* 15: 139-144.  
 Oh YL, Jang KY, Kong WS, Shin PG, Kim ES, Oh MJ, Choi IG. 2015. Development of a new brown button mushroom cultivar ‘Hogam’. *J Mushrooms* 13:237-242.  
 Oh YL, Jang KY, Kong WS, Shin PG, Oh MJ, Choi IG. 2016. Cultural and morphological characteristics of a new white button mushroom cultivar ‘Saedo’. *Mycobiology* 44:314-318.  
 Raper CA, Raper JR. 1972. Genetic Analysis of the Life Cycle of *Agaricus bisporus*. *Mycologia* 64: 1088-1117.  
 Sonnenberg ASM, Johan JPB, Hendrickx PM, Lavrijsen B, Gao Wei, Weijn A, Mess JJ. 2011. Breeding and strain protection in the button mushroom *Agaricus bisporus*. *Proceedings of the 7th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products*, 1, pp. 7-15.  
 Umar MH, Van GL. 1999. Studies on the morphogenesis of *Agaricus bisporus*: The dilemma of normal versus abnormal fruit body development. *Mycol Res* 103: 1235-1244.