KOREAN JOURNAL OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY
Vol. 31, No. 2 141~155 (2025)
https://doi.org/10.20909/kopast.2025.31.2.141

신선 꽃송이버섯(*Sparassis latifolia*)의 저장·유통 중 품질 유지 및 가공 활용 기술에 대한 종합 고찰

최지원[1]* · 권나영[1] · 조재한[1] · 허병수[2] · 안기홍[3] · 장민선[1] · 임종국[1]

[1]농촌진흥청 국립원예특작과학원 저장유통과
[2]전북특별자치도농업기술원
[3]농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 버섯과

A Comprehensive Review of Quality Preservation and Processing Utilization Techniques for Fresh *Sparassis latifolia* During Storage and Distribution

Ji Weon Choi[1]*, Nayeong Kwon[1], Jae-Han Cho[1], Byong-Soo Heo[2], Gi-Hong An[3], Min-Sun Chang[1], and Jong-Guk Lim[1]

[1]Postharvest Technology Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Wanju 55365, Korea
[2]Jeonbuk State Agricultural Research & Extension Services, Iksan 54591, Korea
[3]Mushroom Research Division, Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Eumseong 27709, Korea

Abstract This review comprehensively examines current and emerging technologies for maintaining quality and enhancing the processing utilization of *Sparassis latifolia*, a high-value edible mushroom primarily cultivated in Korea. *S. latifolia* is rich in β-glucan and various functional compounds, but its high moisture content and delicate texture make it highly susceptible to rapid quality deterioration during storage and distribution. This paper summarizes established freshness preservation techniques, including micro-perforated films, functional and intelligent packaging, and modified or controlled atmosphere (MA/CA) packaging. In addition, emerging technologies for non-thermal sterilization, photodynamic inactivation (PDI), and nanocomposite packaging are discussed. The review also outlines the general composition, standard specifications, and domestic quality standards for *S. latifolia*. Furthermore, various processing methods including hot water and ethanol extraction, hot-air drying, and freeze-drying are compared in terms of their applicability and extraction efficiency. These findings are expected to provide a practical foundation for future research aimed at improving the storability and value-added utilization of fresh *S. latifolia*.

Keywords *Sparassis*, Freshness preservation, Storage and distribution, Packaging technology, Processing utilization

서 론

꽃송이버섯속(Sparassis)은 Sparassidaceae Herter과에 속하며[1)], 주로 북반구의 온대 및 냉대지역에서 발견되는 종들로 유럽, 북미, 동아시아를 중심으로 널리 분포되어 있다. 이 속에는 *Sparassis crispa*, *S. radicata*, *S. brevipes*, *S. spathulata*, *S. cystidiosa*, *S. latifolia*, *S. nemecii*, *S. laminosa*, 그리고 최근 보고된 *S. miniensis* 등 19종이 포함되어 있다[2,3)].

꽃송이버섯은 1998년 일본에서 최초로 인공재배에 성공하였으며, 우리나라를 포함한 중국, 독일, 미국 등지에서 성공적으로 재배되고 있다. 특히 *S. latifolia* 종은 아시아 지역에서 널리 재배되며, 다당류 중심의 기능성 성분 연구가 주로 보고되고 있다. 국내에서는 2000년대 초반부터 일부 농가 및 연구기관을 중심으로 재배 시도가 이루어졌으나 발이율이 극히 낮아 상업적 재배로의 확대에는 어려움이 있었다. 2019년 이후 배지 pH와 C/N율이 꽃송이버섯 발이에 중요한 역할을 하는 것이 구명됨에 따라 현재는 방임생산이 가능한 기술 수준에 도달하였다. 이에 2019년까지 국내에 등록된 품종은 '너울[4)]'이 유일했으나 현재는 5품종이 등

*Corresponding Author: Ji Weon Choi
National institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Wanju 54874, Republic of Korea
Tel: +82-63-238-6521, Fax: +82-63-238-6505
E-mail: jwcnpri@korea.kr

록되었고 한여울[5] 등 2품종이 출원되었다. 꽃송이버섯의 재배 주기가 길어지는 이유에 대해 Shu 등(2022)은 균사가 배양 과정에서 분비하는 과도한 옥살산(oxalic acid)이 자기 생장을 억제하고 배지 분해를 지연시키기 때문이라고 밝혔고, 옥살산 조절이 재배 주기 단축의 핵심전략이라고 하였다. 최근에는 일본 및 중국으로부터 도입된 *S. latifolia*의 인공재배도 이루어지고 있다. 특히 β-글루칸 함량, 생장 속도, 자실체 형상 등에서 유전적 차이를 보이는 품종들이 선발 및 분화되고 있다[2]. 최근 산림청 국립산림과학원에서 '썸머퀸'이라는 꽃송이버섯 신품종을 개발하고 품종보호를 출원(출원번호 2023-5)하였다. 이 품종은 기존 꽃송이버섯에 비해 재배기간이 약 1/3가량 단축되어, 3개월 이내에 수확이 가능한 것이 특징이다(국립산림과학원, 2023).

Sparassis 속은 단백질, 탄수화물, 지질, 비타민, 무기염류 등 다양한 영양소와 생리활성 화합물이 풍부하며, 다당류, 페놀 화합물, 테르페노이드, 렉틴 등의 생리활성 성분이 항염, 항산화, 면역조절, 항암, 항균, 혈당강하, 지질강하 등의 생리활성을 나타내는 것으로 보고되었다[3]. 특히 꽃송이버섯에 다량 함유된 β-글루칸은 면역세포 수용체와 특이적으로 결합하여 면역 증강하는 효능과 더불어 항암 효과, 항염 효과, 항산화 작용 및 항당뇨 효과 등 다양한 효능이 보고되어 있다[2]. 최근 한국에서는 신선 꽃송이버섯 유통하거나 택배를 통한 직거래 소비가 확대되고 있으며, 건조 및 분말 가공 후 건강기능성 소재나 간편식 재료로 활용되는 사례도 증가하고 있다. 특히, 고함량 β-글루칸의 생리활성이 소비자 인식 개선에 긍정적 영향을 주며, 건조, 냉동 및 동결건조를 거쳐 기능성 식품, 분말차, 캡슐형 건강보조식품 등 고부가가치 제품 개발이 활발히 진행 중이다. 그러나 신선 꽃송이버섯 수확후 저장 및 유통에 관한 연구와 적용 기술이 매우 적으며, 건조 방법에 대한 연구 보고 또한 제한적이다.

본 조사에서는 *S. latifolia* [1]와 *S. crispa* [7]의 형태 차이를 구분하여 기술하였으며, 이 외 품질 규격, 수확후 관리 기술, 가공 방법, 기능성 성분 및 효능 등에 관해서는 두 종을 구별하지 않고 통합적으로 다루었다. 수확후 관리 기술 및 가공 방법에 대해서는 꽃송이버섯과 외형적으로 유사한 흰목이버섯(*Tremella fuciformis* Berk.) 또는 기타 버섯류에 적용되고 있는 MA 포장, 멸균, 보존제 처리, 건조 방법 및 유효성분 추출 기술 등을 중심으로, 꽃송이버섯에의 적용 가능성을 고찰하였다. 본 조사는 꽃송이버섯의 저장성 향상 및 부가가치 증대를 위한 기초자료로 활용하고, 향후 산업적 이용 확대 및 기술 개발의 방향성을 제시하는데 목적이 있다.

Table 1. Comparison of growth environment and morphological characteristics between *Sparassis latifolia* and *S. crispa*.(2, 54, 55)

Category	Characteristics	
	Sparassis latifolia	Sparassis crispa
Appearance		
Host trees	Mostly conifers: *Pinus densiflora*, *Pinus koraiensis*; some broadleaf trees: *Quercus spp.*	Conifers: Picea spp., Abies spp., Pinus spp.
Fruiting body	Solitary, 300–400 mm diameter, white to cream, uniform color and texture (azonate)	100-450 mm diameter, pale yellow to light brown
Flabella	Wide, flat, slightly twisted with wavy or serrated edge	Narrow, intricately twisted with irregularly curled ends
Stipe	15-20 mm thick at base, short and thick, branches from base	Relatively thinner and longer, branches from upper part
Basidiospores	5.0-6.0 × 4.0-5.0 µm, Q value: 1.26, ovoid, thick wall, colorless	4-6 × 3-5 µm, ovoid, smooth surface
Basidia	4-spored, 39-51 µm in length, clavate	4-spored
Clamp connection	Present	Present
Chemical reaction	Negative for KOH and Melzer's reagent → inamyloid	Negative for KOH and Melzer's reagent → inamyloid

문헌 검색

조사는 *Sparassis latifolia* 및 *S. crispa*와 관련된 분류, 저장·유통, 포장, 가공, 영양성분 등의 연구를 대상으로 문헌 고찰을 수행하였다. 문헌 검색은 Google Scholar, ResearchGate, Google, 연구보고서 등을 이용하였으며, 주요 검색어는 '*Sparassis latifolia'*, '*Sparassis crispa*', 'cauliflower mushroom', 'mushroom', 'postharvest', 'storage', 'shelf life', 'packaging technology', 'drying', 'extraction' 등이었다. 검색 결과 중 원저 및 조사 논문, 특허, 학위논문을 포함하였으며, 상업적 목적의 자료나 과학적 근거가 부족한 문헌은 제외하였다. 최종 선정된 문헌은 주제별로 분류하여 본 조사에 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 속명

Sparassis 속의 분류는 자실체의 형태, 엽상 구조, 담자포자의 크기, 기주 식물 특성 등을 기반으로 이루어져 왔으며, 분자 계통학적 접근을 통해 종 수준에서의 구분이 정립되어 왔다(Table 1). Dai 등(2006)은 아시아에서 수집된 Sparassis 균주가 유럽 및 북미 지역의 *S. crispa*와는 형태 및 유전적 특성이 명확히 다름을 확인하고, 이를 새로운 종인 *S. latifolia*로 명명하였다[8]. 이후 Rhim 등(2013)의 연구에서는 한국에서 수집된 Sparassis 균주 또한 유럽산 *S. crispa*와 구별되는 계통군에 속함을 분자생물학적으로 입증하였으며, 한국 내에 *S. latifolia*가 존재함을 최초로 보고하였다[1]. 특히 ITS 염기서열 분석 및 형태 비교를 통해, 국내에서 "꽃송이버섯"으로 불리는 자실체가 과거에는 *S. crispa*로 잘못 표기되었으나 실제로는 *S. latifolia*에 해당함을 밝혔다. 이러한 분석 결과, 한국, 중국, 일본 등 동아시아에서 수집된 균주들은 하나의 계통군을 형성하고 있으며, 유럽 및 북미 동부의 *S. crispa* 또는 북미 서부의 *S. radicata*와는 명확히 분리되는 독립 종으로 분류되나, 모두 'cauliflower mushroom'이라는 공통 명칭으로 통용되고 있다.

*S. crispa*는 유럽과 북미 동부에 자생하며 전통적인 약용 이용 사례와 함께 면역 및 항종양 활성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 반면, *S. latifolia*는 주로 한국, 중국, 일본에서 인공재배되고 있으며, β-글루칸 함량이 높고 다양한 생리활성 물질을 함유하고 있어 기능성 식품 및 약리 자원으로서의 활용 가능성이 주목받고 있다[9].

2. 구성 성분 및 약리 활성

*Sparassis latifolia*는 다양한 기능성분을 고함량으로 함유하고 있어 건강기능성 소재로서 주목받고 있다. 꽃송이버섯의 자실체에는 물이 약 90%, 단백질 13.4-14.2%, 지질 2.0%, 회분 1.8%, 탄수화물 21.5%, 그리고 식이섬유가 61.2% 함유되어 있다[10, 11]. 다당류는 주요한 생리활성 고분자 물질로, 면역조절, 항종양, 항산화 등 다양한 생리활성을 나타내는 것으로 보고되었다(Table 2). 다당류의 생물학적 활성은 그 구조와 밀접한 관련이 있다. Sparassis속 균류는 약 40%-54.8% 수준의 고함량 β-글루칸을 포함하고 있으며, 이 β-글루칸은 β-(1→3)-글루칸 주사슬에 β-(1→6)-결합된 포도당 가지가 부착된 구조로 되어 있다[3, 12]. 꽃송이버섯의 β-글루칸의 함량은 건조중 기준으로 43.6%로 보고되었으며, 이는 잎새버섯(15-20%), 송이버섯(18.1%), 영지버섯(8-15%) 등에 비해 높은 함량이다[9]. 총 페놀 화합물 함량은 8.52 mg GAE/g, 총 플라보노이드 함량은 2.11 mg QE/g으로 측정되었으며[6], 이는 *S. latifolia*의 강력한 항산화 능력을 뒷받침하는 지표이다.

꽃송이버섯은 버섯의 갓 부분에 해당하는 자실체(Pileus)와 자실체를 제외한 부분인 기부(stipe)로 구성되어 있다. 보통 자실체 부분을 식용이나 기능식품으로 활용하고 있고, 기부는 폐기되거나 사료 또는 가공품으로 일부 활용되고 있다. 이는 기부의 외관적인 상품성이 떨어지고, 점성과 점착성을 지녀 식감이 떨어지며, 또 재배시 사용된 톱밥을 제거하기 어렵기 때문이다.

Wang 등(2014)는 다양한 톱밥 배지 입자 크기 및 영양원 조건에서 재배하여 부위별 β-글루칸 함량을 비교한 결과, 기부의 β-글루칸 함량이 모든 조건에서 자실체에 비해 1.4-2.4배 높았다고 면역 활성 효능은 자실체와 차이가 없었다고 보고하였다[13].

Seo 등(2016)도 꽃송이버섯 기부에 함유된 β-글루칸 함량이 35.9%-59.5%로 자실체의 β-글루칸 함량 22.9%-38.2%보다 높고, 톱밥은 분쇄기 등 간단한 물리적 처리만으로 쉽게 분리 가능하므로, 꽃송이버섯 기부의 활용성을 높일 필요가 있다고 밝혔다[14].

3. 수확시기

꽃송이버섯은 고함량의 β-글루칸을 함유한 식용 및 약용 버섯으로, 기능성 물질의 함량 변화에 따라 적절한 수확 시기를 설정하는 것이 중요하다. 임산물 표준재배지침서(산림청, 2023)에 따르면, 꽃송이버섯 자실체 내 β-글루칸 함량은 원기 형성 후 생육 경과 일수에 따라 유의미한 차이를 나타낸다(Table 3).

실험 결과에 따르면, 자실체 발생 후 26일차에 수확한 경우 갓 부위의 β-글루칸 함량은 평균 47.72 ± 4.90%로 가장 높았으며, 대 부위 역시 47.80 ± 3.86%로 유사한 수준을 보였다. 이는 21일차 수확 시점과 비교할 때 갓과 대 모두에서 함량이 증가한 수치이며, 이후 31일차부터는 각각 43.42%, 36.28%로 감소하는 경향을 보였다. 같은 경향은 36일차 및 41일차에서도 관찰되었으며, 특히 41일차에는 갓

Table 2. Bioactive compounds and pharmacological activities of *Sparassis latifolia*

Classification	Compound or Extract	Pharmacological activity	References
Total phenolics and flavonoids	gallic acid, protocatechuic acid, p-hydroxybenzoic acid, caffeic acid, syringic acid, ferulic acid, coumaric acid, cinnamic acid, vanillic acid, catechin, quercetin, naringenin, kaempferol, xanthoangelol, 2 chalcones	antioxidant, anti-inflammatory, free radical scavenging, SOD activity, antibacterial	[14-16]
	isoverninic acid, 4-hydroxydyricin	antibacterial	[17]
	4,6-dihydroxy-3-methoxyphthalic acid, 5,6-dihydroxy-7-methoxyphthalide, 3-formylsalicylic acid	antioxidant, antihypertensive	[18-20]
	isoverninic acid	antibacterial	[17]
	xanthoangelol, 2 chalcones, 4-hydroxydyricin	antibacterial	[18]
Polysaccharides	1,3-β-d-glucan, β-(1→3,1→6)-d-glucan, polysaccharide fractions	anticancer, immunomodulatory, anti-inflammatory, innate immunity enhancement, wound healing	[13,21-24]
other polysaccharides	high-molecular-weight polysaccharides, acid hydrolysates (including glucose, galactose, mannose)	improved bioavailability, gut microbiota modulation	[25,26]
Amino acids and Proteins	17 amino acids including glutamic acid, aspartic acid, lysine, leucine; tryptophan, indole, tryptamine, melatonin, serotonin	nutritional value, antioxidant, neurotransmitter function	[15,16]
	lectin	antibacterial, antifungal	[19]
Enzymatic proteins	alkaliphilic esterase	biocatalytic potential, hydrolysis of bioactive substances	[56]
Lipids and derivatives	linoleic acid, oleic acid, palmitic acid, stearic acid, pentadecanoic acid	anti-inflammatory, hypolipidemic effect, flavor contribution	[9,57,58]
Sterols and Vitamins	ergosterol, ergocalciferol, α-, γ-, δ-tocopherol, β-carotene, vitamin b group	antioxidant, anti-inflammatory, inhibition of melanin synthesis, immune regulation	[59-61]
Terpenoids	isodaucane-type sesquiterpenoid, 5α,6α-epoxy-(22e,24r)-ergosta-8(14),22-diene-3β,7β-diol, hanabiratakelide d	anticancer, anti-hyperlipidemic	[9,59]

Table 3. Comparison of β-glucan content and total yield in different parts of the fruiting body of *Sparassis latifolia* at various harvest times. (15)

Harvest time (days)	β-glucan content in pileus (%/g)	β-glucan content in stipe (%/g)	Total yield (g)
21	46.26 ± 3.44	46.50 ± 5.47	78.22
26	47.72 ± 4.90	47.80 ± 3.86	111.48
31	43.42 ± 4.08	36.28 ± 3.11	84.47
36	42.81 ± 6.12	35.30 ± 2.57	103.79
41	39.04 ± 5.66	34.49 ± 1.85	99.67

· Data are presented as mean ± standard deviation.
· Harvest dates were determined by the number of days after primordium formation according to the 2023 standard cultivation guideline for forest products.

부위 39.04%, 대 부위 34.49%로 β-글루칸 함량이 현저히 낮아지는 것으로 확인되었다[15].

총생산량 측면에서도 26일차 수확 시 111.48 g으로 가장 높았고, 이후 31일차(84.47 g), 36일차(103.79 g), 41일차(99.67 g)로 점차 감소하거나 정체되는 양상을 나타냈다. 이러한 결과는 자실체의 생장이 일정 기간 진행된 이후부터는 오히려 품질과 생산성을 동시에 저해함을 의미한다.

따라서 꽃송이버섯의 수확 시기는 기능성 물질 함량과 생산량을 동시에 고려할 때, 자실체 원기 형성 후 26일 경과 시점이 가장 적정한 수확 시기로 판단된다. 특히 주목할 점은, 일반적으로 가공 시 폐기되는 대 부위 또한 갓 부위와 유사한 수준의 β-글루칸을 함유하고 있어 기능성

원료로서의 활용 가능성이 높다는 점이다. 이는 자실체 전체의 전량 이용을 통해 버섯의 부가가치를 극대화할 수 있는 근거가 된다.

4. 품질 규격

꽃송이버섯의 품질 규격은 「임산물 표준규격 고시」에 따라 제정되어 있으며, 건조 제품과 생버섯 제품 각각에 대해 별도의 등급 기준이 마련되어 있다(산림청, 2023). 해당 기준은 주로 갓의 크기, 균일도, 모양과 색택, 피해품 비율, 수분함량(건제품 한정) 등을 기준으로 하여 '특', '상', '보통' 3등급으로 분류된다.

건조 꽃송이버섯의 경우, 등급 판정은 크기와 형태, 색택 및 피해품 비율 등을 종합적으로 고려하여 이루어진다. 특등급은 동일 크기의 자실체가 균일하게 혼합되어 있으며, 갓의 크기가 직경 7 cm 이상(L 등급)에 해당하며, 수분 함량이 13% 이하이고, 외형이 품종 고유의 색과 형태를 잘 유지하고 있어야 한다. 또한 파쇄, 변질, 오염 등 피해품 비율이 3% 이하로 제한된다. 상등급은 중간 크기(M 등급, 직경 4-7 cm)의 자실체로서 5% 이하의 이품 및 5% 이하의 피해품만 허용되며, 보통등급은 직경 4 cm 미만(S 등급) 포함 여부와 함께 최대 20%까지의 피해품이 허용된다.

생꽃송이버섯의 경우에도 등급 기준은 유사하나, 수분함량 대신 신선도, 탄력성, 향기 유지 여부가 평가 기준에 포함된다. 특등급은 갓의 크기가 평균 직경 15 cm 이상(L 등급)이고, 이품이 없으며, 조직의 탄력성과 고유 향기가 유지되는 등 신선도가 높아야 한다. 상등급은 7-15 cm(M 등급)에 해당하며, 외형과 향은 양호하지만 일부 이품이 허용된다. 보통등급은 7 cm 미만(S 등급) 자실체가 포함될 수 있으며, 피해품 비율이 최대 20%까지 허용된다.

재배 방법(병재배, 봉지재배, 단목재배) 간 외형 차이가 존재하더라도, 동일한 등급 기준이 적용되며, 갓의 크기는 최소 및 최대 지름의 평균값으로 산정하고 있다.

5. 신선 꽃송이버섯 수확후관리기술

5.1. 포장

식용버섯은 수확 후 고수분, 고대사활성 및 연조직 구조로 인해 저장 중 품질 저하가 빠르게 진행된다. 이를 억제하기 위한 다양한 포장 기술이 개발되고 있으며, 대표적으로 미세천공 필름, 나노 복합포장, 능동 포장(active packaging), 지능형 포장(intelligent packaging)이 다양한 식용 버섯에 적용되고 있다(Table 4)[16].

5.1.1. 미세천공 필름(Micro-perforated films)

일반적으로 신선 농산물 저장에 사용되는 폴리에틸렌(PE), 폴리염화비닐(PVC), 폴리프로필렌(PP) 등의 포장재는 낮은 투기성과 투습성으로 인해 포장 내부에 이산화탄소가 과도하게 축적되거나 수증기가 응결하는 문제를 야기한다. 이에 비해 미세천공 필름은 투기성과 투습성이 개선되어 이러한 문제를 완화할 수 있다. 특히 천공의 직경, 개수, 분포를 조절한 필름은 포장 내 응축수 형성 및 휘발성 유해물질 생성을 억제하고, 내부 습도와 향기성분을 유지함으로써 양송이버섯의 색상과 풍미 보존, 저장 수명 연장에 효과적인 것으로 보고되었다[17].

5.1.2. 나노포장 및 나노복합포장(Nanopackaging and nanocomposite packaging)

나노기술을 응용한 포장재는 뛰어난 기계적 강도와 항균성, 기체 조절 기능을 제공하여 저장 중 버섯의 품질 열화를 억제하는 데 효과적인 것으로 평가된다. 대표적으로 나노은(nano-Ag), 나노이산화티타늄(nano-TiO_2), 나노이산화규소(nano-SiO_2), 나노아타풀자이트(nano-attapulgite) 등 다양한 무기 나노물질이 폴리에틸렌이나 저밀도 폴리에틸렌에 첨가된 복합소재 포장이 양송이버섯의 갈변 억제 등 품질 개선효과를 보였다[18, 19]. 이는 나노 소재의 항균 작용에 의한 부패 미생물 증식 억제, 항산화 작용에 의한 활성산소종 제거 및 세포막 지질 과산화 억제, 그리고 필름의 기체 및 수분 투과 특성 변화에 따른 호흡속도 및 폴리페놀옥시다아제 활성 저하가 복합적으로 작용한 결과이다. 또한, 팽이버섯의 경우, 나노 복합필름 포장이 미토콘드리아 기능을 보호하고 활성산소종(ROS) 생성을 억제하여 저장 중 품질 저하를 지연시켰다[20]. 이러한 나노 포장 기술은 항산화 효소 경로의 조절, PPO(polyphenol oxidase) 활성 억제, 멜라닌 생합성 관련 유전자 발현 저해를 통해 갈변을 지연시키는 작용기전을 가지며, 저장 중 외관, 조직감, 풍미 유지에 기여할 수 있다.

5.1.3. 능동 포장(Active packaging)

1-MCP(1-methylcyclopropene)와 과망간산칼륨이 탑재된 분자체(molecular sieve)를 포장재에 적용하여 항균, 산화억제, 방습, 탈취 등의 기능성 물질을 포장재에 탑재하는 능동 포장(active packaging) 기술을 표고버섯에 적용한 결과, 표고버섯의 자실체 내 에틸렌 생성 관련 유전자 및 효소 활성을 억제하고 외부 에틸렌을 흡착함으로써 연화, 갈변, 중량 감소를 효과적으로 지연시켰다[21]. 또한 MgO 나노입자 및 포도씨유를 Poly(3-hydroxybutyrate)에 적재한 포장필름은 *S. aureus* 및 *E. coli*의 생장을 억제함으로써 양송이버섯의 실온 저장 수명을 최대 6일까지 연장시켰다[22].

5.1.4. 지능형 포장(Intelligent packaging)

1-MCP를 탑재한 하이드로젤 포장은 환경 변화 시 1-MCP를 방출하여 버섯 조직 내 에틸렌 수용체에 결합함으로써 에틸렌의 작용을 차단하고, 연화, 갈변, 수분 손실과

Table 4. Packaging technologies and effects for mushrooms

Packaging technology	Packaging material characteristics	Target mushroom and major findings	Reference
Micro-perforated film	A/PE film, thickness 76 μm, pore size 0.5 mm	*Agaricus bisporus* – maintained total phenolics and flavonoids, reduced electrical conductivity and MDA content, suppressed specific gene expression, lowered browning index	[62]
	PE film, thickness 25.1 μm, 8 pores of 0.3 mm diameter	*Agaricus bisporus* – reduced browning index, increased concentration of 13 key aroma compounds	[63]
Micro-perforated film with high CO_2 (80%)	Polyolefin film (PSF-700), thickness 25 μm, 25 pores, pore size 143 μm	*Agaricus bisporus* – preserved color, reduced MDA content, suppressed browning index	[64]
Nano and nano-composite packaging	PE-based nano-Ag film, thickness 35 μm, treated with 2,711 mg/m^3 ozone	*Agaricus bisporus* – high antioxidant capacity maintained, delayed browning and softening, preserved up to 9 days	[19]
	PE-based nano-Ag/TiO_2 film, thickness 40 μm	*Agaricus bisporus* – delayed phospholipid degradation, suppressed lipid peroxidation	[65]
	LDPE with anti-condensation agent, thickness 40 μm; nano-Ag, nano-TiO_2, nano-SiO_2, nano-attapulgite,	*Agaricus bisporus* – preserved total phenolics and flavonoids, suppressed melanin accumulation and browning	[18]
	PE-based film, thickness 40 μm; nano-Ag, nano-TiO_2, nano-attapulgite, nano-SiO_2	*Flammulina velutipes* – maintained mitochondrial function and energy balance, improved storage quality	[66]
	PE-based film, thickness 40 μm; nano-Ag, nano-TiO_2, nano-attapulgite, nano-SiO_2	*Flammulina velutipes* – suppressed ROS generation pathway, delayed lignin accumulation	[67]
Active packaging	1-MCP, potassium permanganate, cinnamon essential oil, packaging film	*Agaricus bisporus* – removed ethylene, delayed browning and softening, reduced weight loss	[21]
	zeolite, ginseng extract, gelatin, glycerol	*Agaricus bisporus* – enhanced antioxidant activity, suppressed ethylene production, reduced browning rate	[68]
	gelatin, pomegranate peel powder, PE film	*Pleurotus ostreatus* – improved antimicrobial activity, maintained tissue firmness, extended shelf life up to 11 days	[69]
	MgO nanoparticles, grape seed oil, poly(3-hydroxybutyrate)	*Agaricus bisporus* – high antimicrobial activity, extended storage period up to 6 days	[22]
Intelligent packaging	activated carbon/palladium, 1-MCP	*Agaricus bisporus* – suppressed ethylene emission and removal, delayed browning and weight loss	[23]
	citrus pectin, cellulose nanofiber, thymol	*Agaricus bisporus* – controlled moisture and ethylene release, stabilized relative humidity, inhibited microbial growth	[24]

같은 에틸렌 유도 노화를 억제하였다[23]. 카테콜을 탑재한 펙틴-셀룰로오스 나노섬유 기반 하이브리드 에어로젤 포장은 양송이버섯의 저장 중 내부 습도를 90-95% 범위로 안정적으로 유지하여 미생물 성장과 수분 손실로 인한 품질 저하를 지연시키고, 조직 경도와 색도를 보존하는 효과를 나타냈다[24].

이러한 포장 기술은 포장 내부의 온도, 습도, pH, 또는 에틸렌 농도 변화와 같은 환경 자극을 고분자 네트워크의 팽윤도나 분해 속도 변화로 감지하며, 이 변화에 따라 포장재에 결합된 신선도 유지제(예: 1-MCP, 카테콜)를 제어된 속도로 방출하여 표고버섯을 포함한 버섯류의 저장 수명을 연장하는 데 효과적이다. 이와 같은 스마트 반응형 포장은 향후 식용버섯의 유통 과정에서 보다 지속가능하고 고기능적인 저장기술로 발전할 가능성을 보여주며, 신선 꽃송이버섯에도 적용 시 유통 수명을 연장할 수 있을 것이다.

5.1.5. 꽃송이버섯에 포장 적용 가능성 및 과제

꽃송이버섯은 연조직과 다당류가 풍부한 구조로 인해 수분 증발, 점액성 변화, 갈변 등이 빠르게 발생하는 특성이 있다. 현재까지 꽃송이버섯의 저장 온도에 따른 호흡률, 에틸렌 발생량, 장기 저장을 위한 적정 포장 조건에 대한 기초 정보는 부족한 실정이다. 따라서 다양한 포장 기술의 적

용 가능성을 탐색하기 위해 우선 저장 중 품질 변화 특성에 대한 과학적 정보 구축이 선행되어야 하며, 이를 바탕으로 꽃송이버섯의 품질을 유지할 수 있는 최적의 포장재와 포장 방법을 구명할 필요가 있다.

5.2. 저온플라즈마 (cold plasma)

비가열 식품 처리 공정 중 하나인 콜드 플라즈마 처리 기술은 탈오염 처리 및 품질 개선으로 큰 주목을 받고 있다. 플라즈마는 자연계에서 물질의 네 번째 상태로, 고에너지 전자에 의해 공기가 분해되어 생성된다. 콜드플라즈마는 대기 중 기체에서 전기 방전을 통해 생성되는 다양한 반응성 화학종을 포함하며, 세균, 곰팡이, 포자, 바이러스는 물론 농약과 곰팡이독소에 대해 높은 제거 효과를 나타낸다. 밀봉된 포장 내부에서 콜드 플라즈마를 생성(인패키지 플라즈마; in-package plasma)하면 반응성 물질의 작용을 미생물에 국소화시키고 작용시간을 연장할 수 있으며, 동시에 처리 후 오염을 방지할 수 있다[25]. 인패키지 플라즈마 기술은 최소가공 신선편이 식품이나 생식용 식품의 저장 수명 연장기술로서 새로운 가능성을 제시한다. 로메인 상추[26], 벌크 포장 체리토마토[27], 양송이버섯[28-30] 및 혼합 채소 샐러드[31] 등에서 인패키지 콜드플라즈마 처리로 인한 유해 미생물 억제 및 신선 농산물의 갈변 및 품질을 효과적으로 관리할 수 있다는 실험 결과가 보고되었다[32, 33]. Misra 등(2019)은 신선 식품에 대한 인패키지 플라즈마 처리 방법으로는 volumetric DBD, 내부형 SDBD(surface dielectric barrier discharge), 외부형 SDBD으로 구분할 수 있는데, 이 중 volumetric DBD 방식이 가장 높은 미생물 사멸 효과를 보인다고 밝혔다[25]. Volumetric DBD 방식은 포장 전체에 고전압을 사용하여 포장 내부 전체에서 플라즈마를 발생하는 방법이고, 내부형 SDBD 방식은 전극을 포장 내부에 삽입하여 표면 플라즈마를 발생하는 방법, 외부형 SDBD 방식은 전극을 포장 외부에 밀착시켜 헤드스페이스에서 플라즈마를 발생하는 방식이다.

향후 신선 꽃송이버섯의 저장·유통 과정에서 신선도 유지를 위해, MA 포장과 연계한 포장 내 저온플라즈마 처리의 공정 최적화와 미생물학적 안전성·품질 유지 효과에 대한 실증 연구가 필요하다.

5.3. 보존제

보존제는 침지, 분무, 스프레이, 훈증 등 다양한 방식으로 식품에 적용하며, 항균, 항산화, 갈변 억제, 노화지연 효과를 목적으로 한다.

5.3.1. 1-MCP(1-Methylcyclopropene)

1-MCP는 대표적인 에틸렌 생합성 및 작용 억제제로, 식물 조직 내 에틸렌 수용체에 비가역적으로 결합하여 에틸렌 신호 전달을 차단함으로써 숙성과 노화 과정을 지연시키는 기능을 갖는다[34]. 양송이버섯에 1-MCP 0.5 μL·L^{-1}를 처리하고 고투습성 필름(MPP)으로 포장한 결과, 저장 중 갈변 억제, 경도 유지, 에틸렌 생합성 저해 등 품질 유지에 효과적인 것으로 보고되었다[34]. 볏짚버섯(*Volvariella volvacea*)의 경우, 1-MCP 0.75 μL·L^{-1}를 포함한 종이로 MA 저장 전 15±1℃에서 12시간 처리한 결과, 외관, 색상, 조직감, 풍미 등 관능 품질이 대조구에 비해 유의하게 우수하였으며, 최적 농도는 0.75 μL·L^{-1}로 확인되었다[35]. 또한, 볏짚버섯에 1-MCP 250 ppb를 25℃에서 6시간 훈증 처리하거나, 40% CO_2를 동일 시간 동안 전처리한 경우 모두 유사한 수준의 갈변 억제 및 저장성 향상 효과가 나타났으며, 이는 polyphenol oxidase(PPO) 활성을 억제하고 malondialdehyde(MDA) 축적을 지연시킴으로써 품질 유지에 기여한 것으로 나타났다[36]. 산느타리(*Pleurotus pulmonarius*)에 1-MCP 0.75 μL·L^{-1}를 처리한 경우, 저장 중 경도, 글루타치온 함량, T-SOD 활성을 유지하면서 세포막 투과성, 중량 감소율, MDA 함량을 감소시켜 항산화 능력과 저장 품질이 향상되었다. 반면, 에테폰 0.05% 처리는 PPO 활성을 증가시키고 b*값과 에틸렌 생성을 촉진하여 갈변을 가속화하였다. 전사체 분석 결과 총 5,422개의 차등 발현 유전자 중 62개 유전자가 글리세롤지질 대사, 2-옥소카복실산 대사, 뉴클레오타이드 당 생합성 등 저장 품질과 밀접한 대사 경로에 특이적으로 관여함으로써, 1-MCP의 저장성 개선 효과에 대한 유전적 기작을 제시하였다[37]. 표고버섯(*Lentinus edodes*)에 1-MCP 0.25-0.75 mg·L^{-1}를 6시간 훈증 처리한 경우, 갓의 갈변 억제, 호흡 저해, PPO 활성 감소와 함께 저장 중 ATPase, succinate dehydrogenase(SDH), cytochrome c oxidase(CCO) 활성이 유지되어 에너지 대사 조절을 통한 품질 유지 효과가 확인되었다[38].

꽃송이버섯은 조직이 부드럽고 다당류 함량이 높아 저장 중 점액성 변화, 갈변, 수분 손실 등 품질 열화가 빠르게 진행되는 특성을 나타낸다. 이러한 특성은 기존 연구에서 보고된 다른 버섯류와 유사한 품질 저하 양상으로, 이에 따라 1-MCP가 저장 및 유통 중 선도 유지에 효과적일 것으로 기대된다. 1-MCP를 0.5-1.0 μL·L^{-1} 농도로 6-12시간 훈증 처리한 후 적절한 포장재를 활용한 저장 조건은 꽃송이버섯의 저장 중 품질 유지에 효과적일 것으로 예상된다. 다만, 실제 적용을 위해서는 꽃송이버섯 고유의 품종 특성과 조직학적 특성에 따라 최적의 전처리 온도, 포장재 종류, MA 적용 여부 등의 저장 조건을 설정하기 위한 실험적 검토가 선행되어야 한다.

5.3.2. 이산화염소(Chlorine dioxide; ClO_2)

이산화염소는 *Listeria monocytogenes*, Escherichia coli O157:H7 등 다양한 세균, 곰팡이, 바이러스에 대해 광범위

한 항균 효과를 가지며[39], 에틸렌의 이중결합을 끊는 작용을 가지는 것으로 보고되어 있다. International Chemical Safety Cards (ICSC)에 따르면 이산화염소의 직업적 노출 한계치는 0.1ppm(최고 허용 농도)이다. ClO_2는 미국 FDA 규정(21 CFR 173.300)에 따라 비농산물 원재료의 세척에 사용되는 물에서 잔류 ClO_2가 3 ppm을 초과하지 않는 범위 내에서 항균제로 사용할 수 있다.

Ku 등(2006)은 ClO_2를 5, 10, 50 ppm 농도로 처리한 결과, 양송이버섯의 중량 감소를 지연시키고, polyphenol oxidase (PPO) 활성을 억제하며, 미생물 증식을 효과적으로 억제한다고 보고하였다[40]. 절단된 양송이버섯에 ClO_2를 처리한 후 저온(4°C)에서 저장하면서 품질 변화를 평가한 결과, ClO_2 10 ppm 처리구에서 경도 유지, 갈변 억제, 중량 손실 저감, 세균수 억제 등 저장 중 품질 유지에 가장 효과적인 것으로 나타났으며, 감각 평가에서도 우수한 기호도를 유지하였다[39]. Jin 등(2024)도 이산화염소(50 mg·L^{-1}) 처리가 절단한 양송이버섯의 표면 호기성 세균 수를 감소시키고 중량 감소 억제 및 경도 유지, 휘발성 향기 유지, 관능평가 점수 유지에 효과적이었다고 보고하였다[40]. 이러한 결과는 ClO_2가 에틸렌 관련 신호 전달을 조절하고, 항산화 활성 유지 및 미생물 억제를 통해 절단 버섯의 저장성을 향상시킬 수 있음을 의미한다.

따라서 ClO_2는 기존의 저장성 향상 기술과 병행하여 꽃송이버섯과 같은 고수분·고다당류 함유 버섯의 품질 열화를 지연시키는 데 유용한 후처리 기술로 적용 가능성이 높다. 단, 실제 산업적 적용을 위해서는 처리 농도, 처리 시간, 포장 조건 및 제품 특성에 따른 최적화 연구가 필요하다.

5.3.3. 기타

양송이버섯 표면에 에르고티오네인(ergothioneine)을 분사한 결과, 총 페놀 함량과 아스코르빈산 함량이 유지되어 갈변이 지연되었다[41]. 감마-아미노부티르산(γ-aminobutyric acid)으로 양송이버섯을 침지 처리하였을 때, 페닐알라닌 암모니아 분해효소(PAL) 활성이 증가하고 관련 유전자 발현이 향상되어 저온 저장 중 갈변 억제 효과가 나타났다[42]. 에센셜 오일(essential oils)은 휘발성이 강한 천연 방향성 오일 추출물로, 탁월한 항산화 및 항균 작용을 지니며, 주로 훈증(fumigation) 형태로 사용된다[43]. 예를 들어, 페퍼민트 오일로 양송이버섯을 훈증 처리한 결과, 버섯의 경도, 총 페놀, 아스코르빈산 함량이 증가하고, 중량 감소가 줄며 노화 억제 효과가 나타났다[44]. 최근에는 에센셜 오일을 함유한 포장 필름을 통해 버섯의 수확 후 품질을 효과적으로 유지할 수 있음이 보고되었다[45].

5.4. 광역동 비활성화(PDI; Photodynamic inactivation)

식품의 유해균을 줄이거나 제거하기 위한 방법으로 고온을 활용한 열처리 기술이 식품 산업에서 널리 사용되어 왔으나, 고온 처리 과정에서 식품의 색, 질감, 풍미 및 영양성분의 변화가 동반될 수 있다. 이에 대응하여 강력한 산화제, 방사선 조사, 초고전압 펄스 전기장 등 비열 살균 기술들이 대체 수단으로 제안되어 왔다. 그러나 이들 기술은 살균 효율이 낮거나 화학적 잔류물 생성, 높은 비용 등과 같은 한계로 인해 실제 활용도는 높지 않다. 광역동 비활성화는 이러한 한계를 극복하기 위한 새로운 비열 살균 기술로 최근 식품 산업에 적용되고 있다[46]. 이 기술은 특정 파장의 빛을 통해 광감작제를 활성화시키고, 이를 통해 활성 산소종을 생성하여 병원성 미생물을 불활성화시키는 원리를 기반으로 한다(Fig. 1). 광감작제는 식품 표면에 처리되거나 필름형 제형으로 사용할 수도 있다. 광감작제로 커큐민 2019년도 이래 주로 사용되어 왔으나, 리보플라빈은 더 저렴하고 안정성이 높으며 열에 덜 민감하여 식품용 광감작제로서의 실용성이 뛰어나다고 보고되었다[21]. 리보플라빈 기반 광역동 비활성화는 무독성, 친환경성, 에너지 소비가 적고 살균 효과가 높은 장점으로 인해 2018년 이후 식품 보존에 본격적으로 연구가 시작되었다. 광감작제를 이용한 유해 미생물 살균 효과는 농도 및 조건에 따라 상이하므로 꽃송이버섯에 적용할 경우 공정 최적화 연구가 필요하다.

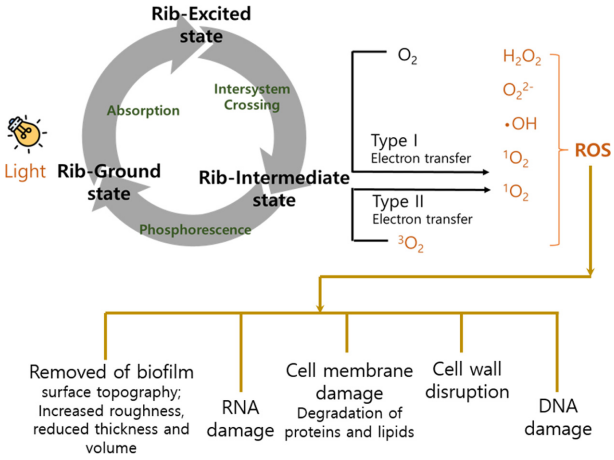

Fig. 1. Mechanism of reactive oxygen species generation and microbial inactivation by riboflavin-mediated photodynamic activation.

6. 건조 방법 및 건조 효과

6.1. 세절 꽃송이버섯의 열풍건조

An 등(2020)은 꽃송이버섯의 생시료 1,400 g을 7 mm 크기로 세절한 후, 대류식 열풍건조기를 이용하여 1차로 45°C의 초기 온도와 55°C의 온수 온도 조건에서 30시간 동안 건조하였다[47]. 이후, 동일 장비에서 건조기 내 온도를 60°C, 온수 온도를 70°C로 설정하여 12시간 동안 2차 건조를 수행하였다. 이러한 열풍건조 과정을 통해 최종 수분

함량은 약 7% 수준으로 조절되었다. 열풍건조된 꽃송이버섯은 항산화활성 측면에서 DPPH 라디컬 소거능은 생시료와 비교시 유의적 차이는 없었던 반면, 철환원능 항산화능(FRAP)은 생시료에 비해 증가하는 경향이었다. 총 폴리페놀 함량은 생시료 대비 감소하는 경향이었는데, 생시료에서의 총 폴리페놀 함량은 14.84 ± 0.53 mg GAE/g이었으나, 건조 시료에서는 11.39 ± 0.20 mg GAE/g으로 유의하게 낮아졌다($p < 0.05$). 이는 열풍건조 과정에서 일부 폴리페놀 화합물이 열에 의해 분해되거나 휘발되었기 때문으로 해석된다. 아미노산 조성에 있어서는 전체적인 아미노산 함량이 생시료보다 증가하였다. 필수 아미노산의 경우, 히스티딘(His), 발린(Val), 메티오닌(Met), 류신(Leu), 이소류신(Ile) 등의 함량이 건조 처리에 의해 다소 증가하였으며, 이는 단백질 분해 및 농축 효과로 인한 결과로 판단된다. 또한 감칠맛과 단맛을 유도하는 아미노산 성분(예: 글루탐산, 세린, 알라닌 등)도 소폭 증가하였다[47].

6.2. 통자실체 꽃송이버섯의 열풍 건조

농촌진흥청 국립원예특작과학원 저장유통과(2024)는 세절하지 않은 *Sparassis latifolia* 통 자실체를 대상으로 열풍건조 온도에 따른 수분 감소율, 건조 소요 시간, 색도 변화를 종합적으로 분석하였다(Fig. 2, Fig. 3). 건조 온도는 30, 35, 40, 50, 60, 70°C로 설정하였으며, 모든 처리구의 최종 수분 함량은 약 10% 내외로 조정하였다. 수분 손실 곡선 분석 결과, 모든 온도 조건에서 초기 2시간 동안 급격한 수분 감소가 나타났으며, 이후 건조 속도가 점차 완만해지는 경향을 보였다. 특히 30°C 조건에서는 초기 4시간 동안 총 수분 손실률이 약 50% 수준에 머물렀으나, 60°C와 70°C 조건에서는 같은 시간에 80% 이상이 손실되어 고온에서 건조 속도가 크게 향상되었다. 건조 완료 시간은 30°C 조건에서 약 15시간, 35°C에서 12시간, 40°C 이상에서는 6~7시간, 70°C 조건에서는 6시간 미만으로 단축되었다. 외관 변화는 건조 온도에 따라 뚜렷하게 구분되었으며,

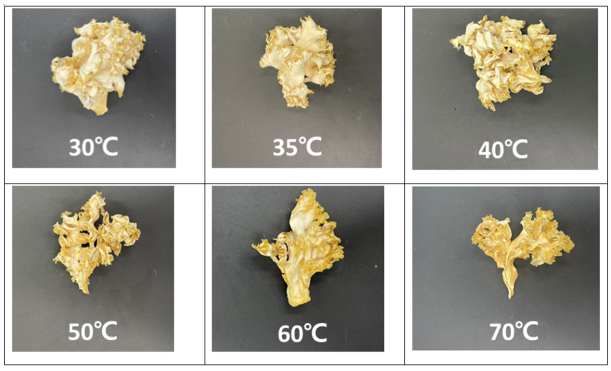

Fig. 2. External appearance of *Sparassis latifolia* fruiting bodies at different hot-air drying temperatures

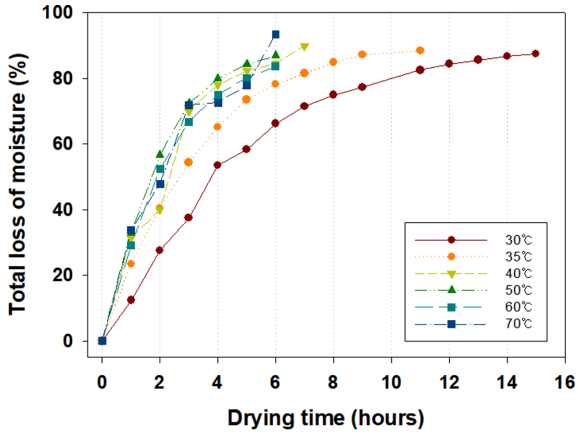

Fig. 3. Moisture loss rate of whole fruiting bodies of *Sparassis latifolia* during hot-air drying at different temperatures and times.

저온 조건(30-35°C)에서는 자실체의 주름과 가지 구조가 잘 유지되고 백색도가 높게 보존되었다. 반면, 40°C 이상에서는 표면이 진한 황색~갈색으로 변색되고, 일부 시료에서 수축·뒤틀림이 발생하였다. 명도는 30°C에서 가장 높게 유지되었으며, 온도가 높아질수록 L* 값이 유의적으로 감소하였는데, 이는 고온에서 비효소적 갈변 반응(마이야르 반응) 및 색소 변성 가능성이 증가했기 때문으로 해석된다.

건조 시간과 색도 변화 양상을 종합적으로 고려할 때 35°C 조건이 가장 적절한 건조 조건으로 판단되나, 향후 건조된 시료의 β-글루칸 등 주요 유효성분의 함량 변화와 경제성을 분석할 필요가 있다.

6.3. 동결 건조

꽃송이버섯은 건조 및 분말화하여 상품화되고 있으며, 열풍건조에 비해 동결건조 시 색상 유지 및 신선한 외관이 우수하여 소비자 기호도가 높다. 동결 건조는 시료 내 수분을 먼저 얼린 후 진공 하에서 승화를 통해 수분을 제거하는 원리를 이용한다. Li 등(2022)은 흰목이버섯(*Tremella fuciformis*)의 동결건조 공정을 다음과 같이 수행하였다[48]. 먼저, 수확한 신선 버섯을 흐르는 물로 세척한 후, 효소 불활성화 및 미생물 저감을 위해 100°C의 물에서 3분간 열탕 처리하였다. 열탕 처리한 시료는 즉시 냉수에 침지하여 급속히 냉각(pre-cooling)한 뒤, 균일한 건조를 유도하기 위해 균일한 크기로 절단하였다. 전처리 동결(pre-freezing) 조건으로는 –25°C에서 3시간 예냉을 사용하였으며, 이때 공융점은 –15.49°C, 공융 혼합온도는 –8.35°C로 확인되었다. Wang 등(2014)은 표고버섯의 건조 전처리로 –80°C에서 24시간 동안 급속 동결을 수행하였으며, 이후 총 4단계의 판온도 조건에 따라 동결건조를 실시하였다[13]. 동결건조는 80°C에서 3시간, 70°C에서 5시간, 60°C에서 12시간, 마지막으로 50°C에서 일정 시간 유지하는 순서로 진행되었으며,

총 건조 시간은 약 25시간이었다. 건조 개시 약 8시간 이후부터는 수분이 급격히 제거되는 주요 승화 단계에 진입하였다. 이 공정에서 진공 상태는 약 10 Pa의 고진공으로 유지되었으며, 이는 수분의 승화를 촉진하고 건조 효율을 높이기 위한 조건이었다. 급속 동결 전처리는 시료 내 수분을 미세한 얼음 결정 형태로 전환하여 조직 구조를 안정화시키고, 이후 건조 단계에서 세포벽 붕괴를 최소화하는 데 목적이 있었다. 최종적으로 제조된 시료의 잔류 수분 함량은 5% 이하로 조절되었으며, 온도와 진공 조건을 정밀하게 제어한 본 공정은 표고버섯 내 수분을 효과적으로 제거하면서도 구조적 손상을 억제한 것으로 평가되었다.

동결건조 공정을 흰목이버섯에 적용할 경우, Li 등(2022)은 최종 제품이 색도 유지, 조직 보존성 및 재수화성이 우수한 품질 특성을 나타냈음을 보고하였고[48], 세절한 흰목이버섯을 열풍건조(55°C, 5시간), 진공건조(60°C, –0.098 MPa, 7시간), 동결건조(–40 °C에서 동결 후 –55°C, 10 Pa에서 24시간)한 결과, 동결건조가 색상, 수용성 다당류 함량, 재수화율 등에서 가장 우수한 품질 특성을 나타냈다[49]. 열풍 건조시에는 색도 변화가 가장 커 갈변으로 외관 품질이 저하되었고, 수용성 다당류 함량이 가장 낮았다. 동결 건조 시 최종 수분 함량은 약 6.6%, 재수화율은 700% 이상으로 나타났으며, 이는 동결건조 과정에서 세포 간극이 효과적으로 유지되었음을 의미한다[48]. 주사전자현미경(SEM) 관찰 결과 세포벽의 붕괴나 수축이 거의 없이 구조가 잘 유지되었으며, 이는 식감과 소비자 기호도 유지에 긍정적인 영향을 미친다. 따라서 동결건조 공정은 흰목이버섯 뿐 아니라 꽃송이버섯에도 기능성 및 외관 품질을 장기간 유지할 수 있는 효과적인 가공 기술로 활용 가능성이 매우 높다.

Liu 등(2020)은 동결건조와 열풍 건조한 절단 표고버섯의 생리활성 물질을 분석한 결과, 건조 방법에 따라 다당류의 구성 성분, 당 조성비, 구조적 특성, 항산화 활성 및 면역조절 활성이 유의하게 달라지는 것을 확인하였다[50]. 동결건조는 48시간 동안 진공 상태로 건조하였으며, 열풍건조는 60°C에서 5시간 동안 열풍 건조기를 이용하여 수행하였다. 동결건조 처리 시 다당류의 포도당 함량과 ABTS 라디칼 소거능이 높아 항산화 활성이 우수하였으며, 열풍건조 처리 시에는 갈락토오스 및 우론산 함량 증가와 α-배열 구조 비율 증가로 인해 면역세포의 NO, TNF-α, IL-6 분비 촉진 등 면역조절 활성이 더 우수하게 나타났다. 이러한 결과는 표고버섯의 생리활성 다당류를 추출하기 위한 건조 전처리로서 항산화 활성 향상이 목적일 경우 동결건조, 면역조절 활성이 목적일 경우 열풍건조가 적합함을 의미한다.

6.4. 진공 건조

Wang 등(2014)은 표고버섯을 대상으로 진공건조 공정을 수행하였다[13]. 건조 장비로 진공건조기를 사용하였고, 시료는 50°C, 60°C, 70°C의 세 가지 온도 조건에서 각각 건조되었다. 진공건조기의 내부에는 가열판(heating shelf)이 설치되어 있으며, 이를 통해 간접적인 열전달이 이루어진다. 진공도는 0.085 MPa로 유지되었으며, 건조는 시료의 최종 수분함량이 약 13%에 도달할 때까지 지속되었다. 60°C 조건에서 진공건조한 표고버섯은 색상 유지와 항산화 활성 보존 측면에서 가장 우수한 결과를 나타내었다. 진공건조는 열풍건조에 비해 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량을 더 효과적으로 보존하였으며, 이는 기능성 성분 유지와 품질 향상에 유리한 공정으로 평가되었다.

진공건조는 낮은 압력(진공) 환경에서 열을 가하여 증발을 통해 시료 내 수분을 효율적으로 제거하는 탈수 공정으로, 비교적 낮은 온도에서도 증발이 가능하다는 장점이 있다. 진공건조는 산소가 제거된 환경에서 진행되므로 산화반응이 억제되어 폴리페놀 및 플라보노이드와 같은 기능성 성분의 보존에 유리하다. 또한 색도 변화가 적고 갈변이 억제되며, 휘발성 향미 성분의 손실이 적어 버섯 고유의 풍미 유지에도 효과적이다. 그러나 진공건조는 건조 시간이 다소 길고, 에너지 소비가 높으며, 열풍건조에 비해 설비 비용이 높다는 단점이 있다. 또한, 수분의 내외부 이동 속도 불균형에 따라 조직의 수축이나 변형이 발생할 수 있다.

꽃송이버섯에 진공건조를 실시할 경우 몇 가지 주의사항이 요구된다. 우선, 적절한 건조 온도의 선택이 중요하며, 고온에서는 폴리페놀 화합물과 같은 열에 민감한 성분이 분해될 수 있다. 또한, 과도한 진공 상태는 시료 표면의 수분을 과도하게 빠르게 제거하여 내부 수분과의 이동 속도 불균형을 초래함으로써 조직 손상을 유발할 수 있다. 따라서 일정하고 균일한 진공 상태의 유지가 필요하며, 이는 승화에 의한 품질 저하나 기포 형성을 방지하는 데 기여한다.

7. 로스팅 방법 및 효과

An 등(2020)은 회전드럼식 로스팅 쿠커(rotary drum type roasting cooker)를 이용하여 꽃송이버섯을 로스팅하여 성분변화를 관찰하였다[47]. 로스팅에 사용된 장비는 일반적으로 커피 원두의 로스팅에 사용되는 장비와 동일한 유형으로, 균일한 열전달과 회전을 통해 시료의 열처리가 가능하도록 설계되어 있다. 열풍건조를 마친 꽃송이버섯 시료 일부를 로스팅 장비에 투입한 후, 170°C의 설정 온도에서 분당 15회 회전 속도 조건으로 로스팅을 진행하였다. 처리 중에는 초기 시료 내 여분의 수분이 수증기로 증발하면서 조직이 연화되고, 점차 갈변 반응이 진행되었다. 로스팅은 시료 표면에 갈색 색조가 형성될 때까지 지속되었으며, 이는 가공 특유의 향미 성분이 생성되고 기능성 물질의 농도가 변화하는 시점으로 판단되어 종료 기준으로 삼았다. 로스팅된 꽃송이버섯(*Sparassis crispa*)은 FRAP 항산화능과 아질산염 소거능이 생시료 및 열풍건조 시료에 비해 유의

적으로 증가하였다. 총 폴리페놀 함량 또한 16.90 ± 0.40 mg GAE/g로 생시료(14.84±0.53) 및 열풍 건조 시료(11.39 ± 0.20)보다 높게 나타났다. 로스팅 과정에서 갈변 반응이 일어나면서 폴리페놀계 화합물이 구조적으로 변화하거나 새로운 항산화성분이 생성될 수 있음이 알려져 있다[51]. 로스팅 처리는 꽃송이버섯의 아미노산 조성에 뚜렷한 영향을 미쳐, 대부분의 아미노산 함량이 생시료 및 건조 시료에 비해 증가하는 경향을 나타냈다. 특히 히스티딘(His), 발린(Val), 메티오닌(Met), 류신(Leu), 이소류신(Ile) 등과 같은 필수 아미노산의 함량 증가가 두드러졌으며, 이는 단백질의 영양적 가치를 향상시키는 중요한 지표로 작용한다. 또한, 글루탐산(Glu), 알라닌(Ala), 세린(Ser) 등 감칠맛과 단맛을 유도하는 아미노산 성분 역시 로스팅 처리 후 증가하여 관능적 품질 향상에도 기여하는 것으로 판단된다. 반면, 페닐알라닌(Phe)과 티로신(Tyr)을 제외한 거의 모든 아미노산이 로스팅 과정에서 증가하였으며, 이러한 변화는 고온 처리에 따른 단백질 구조 변화, 가수분해 반응, 아미노산의 농축 효과 및 열안정성에 기인하는 것으로 해석된다.

8. 꽃송이버섯 유효성분의 추출 최적화 및 품질 저해 요소 저감 전략

꽃송이버섯은 β-(1→3)-D-glucan 함량이 높은 기능성 버섯으로, 항암, 항산화, 면역조절 등의 다양한 생리활성을 나타내어 산업적 활용 가치가 높은 자원으로 평가된다. 그러나 β-글루칸은 고분자 구조를 가지는 불용성 다당류로 대부분 물에 잘 용해되지 않으며, 일반적인 열수 추출만으로는 수율이 낮아 10% 미만의 회수율을 보이는 경우가 많다.

또한 꽃송이버섯은 특유의 강한 향을 지니고 있고, 나트륨(Na), 칼륨(K) 등 미네랄 함량이 높은 특징을 갖는다. 이러한 특성은 기능성 식품 소재로의 활용 시 기호성과 품질 측면에서 부정적인 영향을 줄 수 있다. Kwak(2019)는 열처리 온도와 추출용매 조성에 따른 유효성분의 추출 수율과 향 성분, 무기물 제거 효율을 종합적으로 분석한 결과(Table 5), 120℃ 고온 열처리와 에탄올을 단계적으로 적용한 증류수–에탄올 단계적 혼합 추출법이 고형분, β-글루칸, 총 폴리페놀의 수율에서 가장 우수한 추출 효율을 나타냈으며, 대표 향 성분인 2-Acetyl-5-methylfuran이 제거되는 등 특유의 향기 성분이 효과적으로 저감되었다고 밝혔다[10]. 한편 나트륨(Na)과 칼륨(K)의 제거는 투석법을 이용하였는데, 이는 추출 농축액 50 g을 증류수로 4배 및 10배 희석한 뒤 반투막에 주입하고, 이를 10L의 증류수에 담가 4시간 동안 침지시키는 과정을 7회 반복하여 총 28시간 동안 진행하는 방식이다. 투석이 완료된 추출액은 진공회전증발기를 이용해 농축한 후, 무기물 함량 분석을 통해 Na와 K의 유의미한 감소를 확인하였으며, 이 과정에서 β-글루칸과 같은 고분자 유효성분은 막을 통과하지 않아 보존됨으로써 선택적인 무기물 제거 효과를 입증하였다.

Kim(2010)[52]과 Bae 등(2012)[53]은 각각 반응표면분석법(Response Surface Methodology, RSM)을 이용하여 꽃송이버섯(*Sparassis crispa*)로부터 수용성 β-글루칸의 효율적인 추출 조건을 최적화하였다. 두 연구 모두 추출 조건으로 pH, 추출 시간, 버섯 건중량 대비 물의 비율을 변수로 설정하였으며, 최적 조건은 pH 6.05, 추출 시간 8시간 55분, 물 대 원료 비율 19.74로 도출되었다. 회귀분석 결과, Kim(2010)은 결정계수(R^2) 0.9544, 유의확률(P) 0.0074를 보고하여 1% 수준에서 통계적으로 유의한 예측 모델임을 입증하였다. 최적 조건에서 추출된 수용성 획분은 총당 62%, β-글루칸 59%, 단백질 13%의 일반성분을 함유하였으며, 구성당 분석에서는 glucose가 67%로 주요 구성성분으로 확인되었다. 구조 분석 결과, 이 추출물은 β-(1→3) 주사슬에 β-(1→6) 가지가 결합된 전형적인 구조를 나타냈고, 분자량 분포는 3,400 kDa(27%), 30 kDa(65%), 9 kDa(8%)로 고분자 비율이 우세하였다. 또한 수화능 분석에서 용해도 100%로 우수한 수용성이 확인되었으며, 이는 기능성 물질로서의 활용 가능성을 시사한다. Bae 등(2012) 또한 유사한 최적 조건을 통해 60.76%의 β-글루칸 함량을 예측하였으며, 실험값은 R^2 0.95, $p = 0.0074$의 회귀모형과 높은 적합도를 보여 두 연구 결과 간의 일관성과 재현성을 입증하였다[53].

9. 향후 연구 방향

신선 꽃송이버섯의 저장성 개선과 고부가가치 가공소재화를 실현하기 위해서는 저장 및 유통 수명 연장을 중심으로 한 단계별 정밀 연구가 요구된다. 첫째, 수확 후 생리특성에 대한 정량적 분석을 통해 저장 중 호흡률, 에틸렌

Table 5. β-glucan yield according to extraction methods of *Sparassis latifolia*

Extraction method	Summary of extraction procedure	β-Glucan yield (mg/g
Hot water extraction	Extracted three times using distilled water at 120 °C	66.41 ± 2.20
Ethanol extraction	Reflux extraction three times using 95% ethanol	13.58 ± 1.94
Ethanol–distilled water mixed solvent extraction	Extracted three times using 1:1 mixed solvent (ethanol:water)	76.34 ± 1.63
Stepwise extraction with distilled water and ethanol	Sequential extraction with distilled water → ethanol → 1:1 mixture → distilled water	90.91 ± 2.47

생성량, 수분 손실 및 조직 변화 등 품질 열화 지표를 정립하고, 이를 바탕으로 저장 및 유통 수명을 예측할 수 있는 모델 개발이 필요하다. 둘째, 포장재 및 저장 조건의 최적화를 위해 미세천공 필름, 나노복합포장, 능동 및 지능형 포장재의 기체 조절능, 습도 유지력, 항산화 효과에 대한 적용성 검토가 필요하며, 표면 유해 미생물 억제를 위한 조건 구명도 필요하다. 이를 통해 저장 및 유통 중 품질 저하를 최소화할 수 있는 기술 조합을 도출해야 한다. 셋째, 저온 플라즈마 및 광역동 비활성화와 같은 비열 살균 기술은 꽃송이버섯의 연조직 구조와 고수분 특성을 고려한 처리 조건 최적화 연구가 선행되어야 하며, 이들 기술이 저장 및 유통 수명 연장에 실질적으로 기여할 수 있는지를 검증해야 한다. 넷째, 가공 활용 측면에서는 유효 성분의 손실을 최소화하면서도 기능성을 유지할 수 있는 건조 및 추출 조건 확립이 중요하며, 열풍·동결·진공 건조에 따른 성분 변화와 조직 보존성에 대한 비교 연구가 필요하다. 마지막으로, 기부(stipe) 부위의 β-글루칸 함량 및 생리활성을 기반으로 폐기 부위의 가공소재화 가능성을 평가하고, 자실체 전량 이용을 통한 자원화 전략도 함께 마련되어야 한다. 이러한 후속 연구들은 신선 꽃송이버섯의 저장 및 유통 수명 연장을 실현하고, 산업적 활용 가치를 극대화하는 데 실질적인 기여를 할 수 있을 것이다.

요 약

본 논문은 국내에서 주로 재배되는 신선 꽃송이버섯(*Sparassis latifolia*)의 저장 및 유통 과정에서 품질 저하를 최소화하고, 이를 가공에 효율적으로 활용하기 위한 기술들을 종합적으로 고찰하였다. 꽃송이버섯은 고함량의 β-글루칸과 다양한 기능성분을 함유한 고부가가치 식자재로, 조직이 연약하고 수분 함량이 높아 저장 및 유통 중 품질 열화가 빠르게 진행된다. 이에 따라 본 연구에서는 저장 중 주요 품질 변화 양상과 이를 지연시키기 위한 미세천공 필름, 기능성 및 지능형 포장, MA 및 CA 포장 기술 등 기존 보고된 신선도 유지 기술을 정리하고, 적용 가능성이 높은 비열 살균, 광역동 처리, 나노복합필름 등의 신기술도 함께 논의하였다. 아울러, 꽃송이버섯의 일반 성분, 표준규격, 국내 품질기준을 요약하고, 열수 추출 및 에탄올 추출, 열풍·동결 건조 등의 가공 기술별 활용성 및 추출 효율에 대해서도 비교·정리하였다. 본 고찰은 향후 신선 꽃송이버섯의 저장성 개선과 고부가가치 식품 소재화 연구에 실용적인 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01733402)의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Ryoo, R., Sou, H.-D., Ka, K.-H. and Park, H. 2013. Phylogenetic relationships of Korean *Sparassis latifolia* based on morphological and ITS rDNA characteristics. *J. Microbiol.* 51: 43-48.
2. Lin, Y., Ma, L., Xiao, D., Yang, C., Ying, Z. and Jiang, X. 2018. Artificial cultivation of the medicinal mushroom *Sparassis latifolia*. In: Sánchez, J.E., Mata, G. and Royse, D.J. (eds.), *Updates on Tropical Mushrooms: Basic and Applied Research*, El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de Las Casas, Mexico, pp. 71-85.
3. Qiu, Z., Zhang, X., Ren, S., Jiang, B., Zhao, J., Zhu, M. and others. 2025. cauliflower mushroom (*Sparassis*): a promising functional food with nutritional and medicinal properties. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 1-17.
4. Heo, B.S., Choi, K.H. and Jo, Y.M. 2022. the optimal post-incubation period of cauliflower mushroom (*Sparassis latifolia*) 'Ne Wull'. J. Mushrooms 26(2): 39.
5. Choi, J.Y., Choi, J.I., Baek, I.S., Shin, B.E., Kim, J.H. and Ha, T.M. 2022. characteristics of a new *Sparassis latifolia* variety “Hanyeoul”, with stable pinheading. J. Mushrooms 20(3): 107-112.
6. Shu, L., Wang, M., Wang, S., Li, Y., Xu, H. and Qiu, Z. 2022. excessive oxalic acid secreted by *Sparassis latifolia* inhibits the growth of mycelia during its saprophytic process. Cells 11(15): 2423.
7. Devkota, S. 2009. the fleshy fungi, *Sparassis crispa* (Basidiomycetes: Polyporales) from Nepal. Sci. World 7(7): 94-95.
8. Dai, Y.C., Wang, Z., Binder, M. and Hibbett, D.S. 2006. phylogeny and a new species of *Sparassis* (Polyporales, Basidiomycota): evidence from mitochondrial atp6, nuclear rDNA and rpb2 genes. Mycologia 98(4): 584-592.
9. Bang, R. and Lee, Y.J. 2019. a review on phytochemistry and pharmacology of *Sparassis crispa*. Kor. J. Herbol. 34(6): 131-138.
10. Kwak, J.N. 2019. analysis of active components according to extraction method of *Sparassis crispa*. M.Sc. Thesis, Department of Chemistry, Hanseo University, Seosan, Republic of Korea.
11. Shin, H.J., Oh, D.S., Lee, H.D., Kang, H.B., Lee, C.W. and Cha, W.S. 2007. analysis of mineral, amino acid and vitamin contents of fruiting body of *Sparassis crispa*. J. Life Sci. 17(9): 1290-1293.
12. Liu, J., Zhang, X., Zhang, J., Yan, M., Li, D., Zhou, S., Feng, J. and Liu, Y. 2022. Research on extraction, structure characterization and immunostimulatory activity of cell wall polysaccharides from *Sparassis latifolia*. Polymers. 14(3):549.
13. Wang, H., Zhang, M. and Mujumdar, A.S. 2014. comparison of three new drying methods for drying characteristics and quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). Dry. Technol.

32(15): 1791-1802.
14. Seo, S.H., Park, S.E., Moon, Y.S., Lee, Y.M., Na, C.S. and Son, H.S. 2016. component analysis and immuno-stimulating activity of *Sparassis crispa* stipe. Korean J. Food Sci. Technol. 48(5): 515-520.
15. Korea Forest Service. 2023. Forest product cultivation and utilization technical manual. National Institute of Forest Science, Seoul, Korea, pp. 411.
16. Kim, D.S., Han, K.S., Park, H.S. and Cho, J.H. 2024. Research trends in postharvest technologies for quality preservation of *Flammulina velutipes* during storage and distribution. J. Mushroom. 22(4): 157-166.
17. Cao, Y., Wu, L., Xia, Q., Yi, K. and Li, Y. 2024. Novel post-harvest preservation techniques for edible fungi: a review. Foods. 13(10): 1554.
18. Zhang, P., Fang, D., Pei, F., Wang, C., Jiang, W., Hu, Q. and others. 2022. Nanocomposite packaging materials delay the browning of *Agaricus bisporus* by modulating the melanin pathway. Postharvest Biol. Technol. 192: 112014.
19. Wang, B., Yun, J., Ye, C., Xu, S., Guo, W., Zhao, F. and others. 2024. A novel polyethylene nanopackaging combined with ozone fumigation delayed the browning and softening of *Agaricus bisporus* during postharvest storage. Postharvest Biol. Technol. 210: 112771.
20. Chen, L., Zhao, Y., Wu, W., Zeng, Q. and Wang, J.J. 2023. New trends in the development of photodynamic inactivation against planktonic microorganisms and their biofilms in food system. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 22(5): 3814-3846.
21. Ni, X., Yu, J., Shao, P., Yu, J., Chen, H. and Gao, H. 2021. Preservation of *Agaricus bisporus* freshness with using innovative ethylene manipulating active packaging paper. Food Chem. 345: 128757.
22. Kumari, S.V.G., Pakshirajan, K. and Pugazhenthi, G. 2024. Development and characterization of active poly (3-hydroxybutyrate) based composites with grapeseed oil and MgO nanoparticles for shelf-life extension of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*). Int. J. Biol. Macromol. 260: 129521.
23. Wu, W., Ni, X., Shao, P. and Gao, H. 2021. Novel packaging film for humidity-controlled manipulating of ethylene for shelf-life extension of *Agaricus bisporus*. LWT. 145: 111331.
24. Wu, W., Wu, Y., Lin, Y. and Shao, P. 2022. Facile fabrication of multifunctional citrus pectin aerogel fortified with cellulose nanofiber as controlled packaging of edible fungi. Food Chem. 374: 131763.
25. Misra, N., Yepez, X., Xu, L. and Keener, K. 2019. In-package cold plasma technologies. J. Food Eng. 244: 21-31.
26. Min, S.C., Roh, S.H., Niemira, B.A., Boyd, G., Sites, J.E., Uknalis, J. and Fan X. 2017. In-package inhibition of *E. coli* O157:H7 on bulk Romaine lettuce using cold plasma. Food Microbiol. 65: 1–6.
27. Misra, N.N., Keener, K.M., Bourke, P., Mosnier, J.-P. and Cullen, P.J. 2014. In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of cherry tomatoes. J. Biosci. Bioeng. 118(2): 177-182.28.
28. Guo, Y., Xia, S., Shi, C., Ma, N., Pei, F., Yang, W., Hu, Q., Kimatu, B.M. and Fang, D. 2024. The effect of cold plasma treatment on the storage stability of mushrooms (*Agaricus bisporus*). Foods. 13(21): 3393.
29. Subrahmanyam, K., Gul, K., Sehrawat, R. and Allai, F.M. 2023. Impact of in-package cold plasma treatment on the physicochemical properties and shelf life of button mushrooms (*Agaricus bisporus*). Food Biosci. 52: 102425.
30. Zheng, Y., Zhu, Y., Zheng, Y., Hu, J., Chen, J. and Deng, S. 2022. The effect of dielectric barrier discharge plasma gas and plasma-activated water on the physicochemical changes in button mushrooms (*Agaricus bisporus*). Foods. 11(21): 3504.
31. Alaguthevar, R., Packialakshmi, J.S., Murugesan, B., Rhim, J.W. and Thiyagamoorthy, U. 2024. In-package cold plasma treatment to extend the shelf life of food. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 23(2): e13318.
32. Sharma, R., Nath, P.C., Rustagi, S., Sharma, M., Inbaraj, B.S., Dikkala, P.K. and others. 2025. Cold plasma—a sustainable energy-efficient low-carbon food processing technology: physicochemical characteristics, microbial inactivation, and industrial applications. Int. J. Food Sci. 2025(1): 4166141.
33. Lee, H.W., Oh, Y.J. and Min, S.C. 2024. Microbial inhibition in mixed vegetables packaged in plastic containers using combined treatment with hydrogen peroxide and cold plasma. Food Control. 161: 110107.
34. Sun, B., Chen, X., Xin, G., Qin, S., Chen, M. and Jiang, F. 2020. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on quality of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) packaged in different packaging materials. Postharvest Biol. Technol. 159: 111023.
35. Chen, B., Wu, G., Li, L., Wei, Q., Zhong, Q., Chen, X. and others. 2019. Effects of 1-methylcyclopropene on the quality attributes of harvested Chinese mushroom (*Volvariella volvacea*) fruiting bodies. Food Sci. Nutr. 7(2): 747-754.
36. Jamjumroon, S., Wongs-Aree, C., McGlasson, W., Srilaong, V., Chermklin, P. and Kanlayanarat, S. 2013. Alleviation of cap browning of 1-MCP/high CO_2-treated straw mushroom buttons under MAP. Int. Food Res. J. 20(2).
37. Chen, L., Xu, S., Chen, J., Zhang, M., Qiu, M. and Jiang, Y. 2024. Transcriptome sequencing analysis of the effects of 1-MCP and ethephon treatments on the storage quality of *Pleurotus pulmonarius*. Sci. Hortic. 338:113721.
38. Huang, X.L., Han, Y.C., Chen, H.J., Fang, X.J., Wu, W.J. and Liu, R.L. 2022. 1-Methylcyclopropene inhibits postharvest browning of *Lentinus edodes* by regulating energy metabolism. Food Science. 43(13):192-198.
39. Zhu, X., Hui, S., Huang, H., Liu, R., Wang, S. and Huang, C. 2024. Antimicrobial mechanism of chlorine dioxide and its impacts on postharvest management in horticultural produce: A review. Postharvest Biol. Technol. 213:112921.

40. Jin, W., Su, F., Zhou, H., Jiang, Q., Li, Y. and Zhao, H. 2024. Effects of chlorine dioxide on the postharvest storage quality of fresh-cut button mushrooms (*Agaricus bisporus*). Horticulturae. 10(11):1155.
41. Qian, X., Hou, Q., Liu, J., Huang, Q., Jin, Z. and Zhou, Q. 2021. Inhibition of browning and shelf life extension of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by ergothioneine treatment. Sci. Hortic. 288:110385.
42. Shekari, A., Hassani, R.N. and Aghdam, M.S. 2021. Exogenous application of GABA retards cap browning in *Agaricus bisporus* and its possible mechanism. Postharvest Biol. Technol. 174:111434.
43. Namiota, M. and Bonikowski, R. 2021. The current state of knowledge about essential oil fumigation for quality of crops during postharvest. Int. J. Mol. Sci. 22(24):13351.
44. Qu, T., Li, B., Huang, X., Li, X., Ding, Y. and Chen, J. 2020. Effect of peppermint oil on the storage quality of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*). Food Bioprod. Process. 13:404-418
45. Feng, L., Jiang, X., Han, J., Li, L., Kitazawa, H., Wang, X., Guo, Y., Dong, X. and Liu, H. 2023. Properties of an active film based on glutenin/tamarind gum and loaded with binary microemulsion of melatonin/pummelo essential oil and its preservation for *Agaricus bisporus*. Food Chem. 429:136901.
46. Qiu, J., Yang, H., Zhang, Y., Xiao, Y., Wang, L., Peng, Y., Yu, X., Huang, X., Zhong, T. and Huang, X. 2024. Emerging trends in the application of riboflavin-mediated photodynamic inactivation for food preservation. Trends Food Sci. Technol. 143:104295
47. An, G.H., Han, J.G., Kim, O.T. and Cho, J.H. 2020. Changes of biological activity and nutritional content by processing methods of *Flammulina velutipes*, *Grifola frondosa*, and *Sparassis crispa*. Journal of Mushroom. 18(4):403-409.
48. Li, Y., Chen, S., Tang, B., Wu, L. and Lai, P. 2022. Eutectic point and freeze-drying curve of *Tremella fuciformis* containing sucrose. Food Sci. Technol. 42:e98521.
49. Li, Y., Chen, J., Lai, P., Tang, B. and Wu, L. 2019. Influence of drying methods on the physicochemical properties and nutritional composition of instant *Tremella fuciformis*. Food Sci. Technol. 40:741-748.
50. Liu, Y., Luo, M., Liu, F., Feng, X., Ibrahim, S.A., Cheng, L. and Huang, W. 2020. Effects of freeze drying and hot-air drying on the physicochemical properties and bioactivities of polysaccharides from *Lentinula edodes*. Int. J. Biol. Macromol. 145:476-483.
51. Do, J.H., Kim, K.H., Jang, J.G., Yang, J.W. and Lee, K.S. 1989. Changes in color intensity and components during browning reaction of white ginseng water extract. Korean J. Food Sci. Technol. 21(4):480-485.
52. Kim, K. 2010. Optimization for β-glucan extraction from *Sparassis crispa* using response surface methodology. M.S. Thesis, Hanyang University, Seoul, Korea.
53. Bae, I.Y., Kim, K.J., Lee, S. and Lee, H.G. 2012. Response surface optimization of β-glucan extraction from cauliflower mushrooms (*Sparassis crispa*). Food Sci. Biotechnol. 21:1031-1035.
54. Mykchaylova, O., Gryganskyi, A., Lomberg, M. and Bisko, N. 2017. The study of morphological and cultural properties of *Sparassis crispa* (Sparassidaceae, Polyporales). Ukrainian J. Ecol. 7(4):550-558.
55. Sharma, N., Tapwal, A., Verma, R., Kumar, D., Nepovimova, E. and Kuca, K. 2022. Medicinal, nutritional, and nutraceutical potential of *Sparassis crispa* s. lat.: a review. IMA Fungus. 13(1):8.
56. Chandrasekaran, G., Lee, Y.C., Park, H., Wu, Y. and Shin, H.J. 2016. Antibacterial and antifungal activities of lectin extracted from fruiting bodies of the Korean cauliflower medicinal mushroom, *Sparassis latifolia* (Agaricomycetes). Int. J. Med. Mushrooms. 18(4):291-299.
57. Wang, Z., Liu, J., Zhong, X., Li, J., Wang, X., Ji, L., and Wang, L. 2019. Rapid characterization of chemical components in edible mushroom *Sparassis crispa* by UPLC-Orbitrap MS analysis and potential inhibitory effects on allergic rhinitis. Molecules. 24(16):3014.
58. Kavishree, S., Hemavathy, J., Lokesh, B., Shashirekha, M. and Rajarathnam, S. 2008. Fat and fatty acids of Indian edible mushrooms. Food Chem. 106(2):597-602.
59. Kodani, S., Hayashi, K., Hashimoto, M., Kimura, T., Dombo, M. and Kawagishi, H. 2009. New sesquiterpenoid from the mushroom *Sparassis crispa*. Biosci. Biotechnol. Biochem. 73(1):228-229.
60. Sułkowska-Ziaja, K., Muszyńska, B. and Szewczyk, A. 2015. Antioxidant components of selected indigenous edible mushrooms of the obsolete order Aphyllophorales. Rev. Iberoam. Micol. 32(2):99-102.
61. Liang, C.H., Tsai, S.Y., Huang, S.J., Liang, Z.C. and Mau, J.L. 2010. Taste quality and antioxidant properties of medicinal mushrooms *Phellinus linteus* and *Sparassis crispa* mycelia. Int. J. Med. Mushrooms. 12(2).
62. Lei, M., Guo, L., Zhang, Y., Yan, X., Jiang, F. and Sun, B. 2024. Effectiveness of anaerobic treatment combined with microperforated film packaging in reducing *Agaricus bisporus* postharvest browning. Postharvest Biol. Technol. 211:112833.
63. Cheng, Y., Wei, Y., Zhang, M. and Wang, H. 2022. Effect of micro-perforated film packing on physicochemical quality and volatile profile of button mushroom (*Agaricus bisporus*) during postharvest shelf-life. J. Food Process. Preserv. 46(7):e16648.
64. Pogorzelska-Nowicka, E., Hanula, M., Wojtasik-Kalinowska, I., Stelmasiak, A., Zalewska, M., Półtorak, A. and Wierzbicka, A. 2020. Packaging in a high O_2 or air atmospheres and in microperforated films effects on quality of button mushrooms stored at room temperature. Agriculture. 10(10):479.
65. Ma, N., Wang, C., Pei, F., Han, P., Su, A., Ma, G., Kimatu, B.M., Hu, Q., and Fang, D. 2022. Polyethylene-based packaging material loaded with nano-Ag/TiO_2 delays quality

deterioration of *Agaricus bisporus* via membrane lipid metabolism regulation. Postharvest Biol. Technol. 183:111747.
66. Fang, D., Wang, H., Deng, Z., Kimatu, B.M., Pei, F., Hu, Q., and Ma, N. 2022. Nanocomposite packaging regulates energy metabolism of mushrooms (*Flammulina filiformis*) during cold storage: A study on mitochondrial proteomics. Postharvest Biol. Technol. 193:112046.
67. Zuo, C., Hu, Q., Su, A., Xu, H., Li, X., Mariga, A.M. and Yang, W. 2021. Nanocomposite packaging delays lignification of *Flammulina velutipes* by regulating phenylpropanoid pathway and mitochondrial reactive oxygen species metabolisms. Postharvest Biol. Technol. 171:111360.
68. Hanula, M., Pogorzelska-Nowicka, E., Pogorzelski, G., Szpicer, A., Wojtasik-Kalinowska, I., Wierzbicka, A. and Półtorak, A. 2021. Active packaging of button mushrooms with zeolite and açaí extract as an innovative method of extending its shelf life. Agriculture. 11(7):653.
69. Lyn, F.H., Adilah, Z.M., Nor-Khaizura, M., Jamilah, B. and Hanani, Z.N. 2020. Application of modified atmosphere and active packaging for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). Food Packag. Shelf Life. 23:100451.

투고: 2025.07.18 / 심사완료: 2025.08.04 / 게재확정: 2025.08.13