



Research Article

# Vitamin D analysis in the Korean total diet study and UV/sun light irradiated mushrooms

## 한국형 총식이조사 및 UV/태양광 조사 버섯에서의 비타민 D 분석

Min-Jeong Seo<sup>1,2</sup>, In-Hwa Roh<sup>1</sup>, Jee-Yeon Lee<sup>3</sup>, Sung-Ok Kwon<sup>4</sup>, Cho-Il Kim<sup>5</sup>, Gae-Ho Lee<sup>1\*</sup>

서민정<sup>1,2</sup> · 노인화<sup>1</sup> · 이지연<sup>3</sup> · 권성옥<sup>4</sup> · 김초일<sup>5</sup> · 이계호<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Korea Research Institute of Analytical Technology, Daejeon 34024, Korea

<sup>2</sup>Department of Health Administration, Kongju National University Graduate School, Kongju 32588, Korea

<sup>3</sup>Department of Senior-Friendly Industry, Korea Health Industry Development Institute, Cheongju 28159, Korea

<sup>4</sup>Research Institute of Human Ecology, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

<sup>5</sup>Department of Food and Nutrition, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

<sup>1</sup>한국분석기술연구소, <sup>2</sup>공주대학교 대학원 보건행정학과, <sup>3</sup>한국보건산업진흥원 고령친화서비스단,

<sup>4</sup>서울대학교 생활과학연구소, <sup>5</sup>서울대학교 생활과학대학 식품영양학과

**Abstract** This study was conducted to evaluate vitamin D intake of Koreans in a total diet study (TDS) and to determine the effect of irradiation on vitamin D synthesis in mushrooms. For analysis, sample were saponified and extracted with hexane, and vitamin D was quantified by liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS). Based on the validation results, the recovery of the National Institute of Standards and Technology (NIST) standard reference sample (SRM) 1849a was 96.7% and the z-score of -1.6 was obtained by the Food Analysis Performance Assessment Scheme (FAPAS) proficiency test (PT) 21115. Vitamin D<sub>2</sub> was not detected in any samples, and the highest level of vitamin D<sub>3</sub> was detected in mackerel and anchovies ranging from 24.2 to 120.2 μg/kg. The mean daily intake of vitamin D was 0.99 μg/day, as estimated from the vitamin D contents of the analyzed foods and their corresponding intake. The adequate intake (AI) of vitamin D based on the Dietary reference intakes for Koreans provided by the Ministry of Health and Welfare is 5-15 μg/day for Koreans aged 6 to 75 years. Compared with this AI, vitamin D intake of Koreans estimated in this study was inadequate. For that, the increased vitamin D content in ultraviolet (UV)/sun light irradiated mushrooms warrants further research to increase vitamin D intake of Koreans through diet.

**Keywords** vitamin D, Korean total diet study, LC-MS/MS, mushrooms

OPEN ACCESS

**Citation:** Seo MJ, Roh IH, Lee JY, Kwon SO, Kim CI, Lee GH. Vitamin D analysis in the Korean total diet study and UV/sun light irradiated mushrooms. Korean J Food Preserv, 30(1), 109-121 (2023)

**Received:** December 06, 2022

**Revised:** January 11, 2023

**Accepted:** January 11, 2023

**\*Corresponding author**

Gae-Ho Lee

Tel: +82-42-823-7241

E-mail: ghlee0702@naver.com

Copyright © 2023 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

비타민 D는 인체 내 칼슘 항상성을 조절하는 호르몬의 역할뿐만 아니라, 면역조절, 세포증식, 분화, 피사, 혈관 신생을 조절하는 기능을 가지고 있으며(Plum과 Deluca, 2010), 뼈 건강

에 중요한 역할을 하는 스테롤이다(Shin과 Kwun, 2012). 비타민 D<sub>2</sub>는 주로 식물에 의해 합성되고 식물성 식품에 존재하며, 비타민 D<sub>3</sub>는 자외선에 노출되었을 때 피부에서 만들어지고 동물성 식품에 존재한다(Choi, 2011). 비타민 D는 피부의 각질세포와 섬유모세포 형질막에 있는 7-디하이드로콜레스테롤(7-dehydrocholesterol)이 자외선 B에 의해 비타민 D<sub>3</sub>로 전환되어 합성된다(Kwon과 Yang, 2017). 인체에 비타민 D의 주요 공급원은 햇빛과 비타민 D 강화식품이며(Tangpricha 등, 2003), 대부분의 사람들은 비타민 D 요구량의 90% 이상을 햇빛 노출을 통하여 체내합성으로 만들 수 있다(Holick, 2004). 한국은 뚜렷한 사계절이 있으며, 봄과 겨울에는 팔, 다리, 얼굴 등의 노출이 여름과 가을에 비해 적은 만큼 자외선 노출 시간이 감소되고, 스모그, 안개 등의 환경요인에 의하여 비타민 D 피부 합성량이 감소하고 있다(Binkley 등, 2004). 비타민 D가 부족하면 심혈관계 질환, 당뇨병, 일부 암 등의 만성질환의 발병위험이 증가하는 것으로 보고되고 있다(Holick, 2004). 또한, 골밀도가 낮아지면서 골다공증으로 골절위험도 증가하고, 근육감소증과 근력약화를 초래하며, 심부전증에 의한 사망과 심장돌연사의 위험이 증가한다(Hollis와 Horst, 2007). 최근에는 혈중 비타민 D 농도가 낮을수록 COVID-19 감염 발생 가능성이 높으며, 특히 치명률이 높은 것으로 보고되어(Ilie 등, 2020) 비타민 D의 기능성에 더욱 이목이 집중되고 있다. 비타민 D 섭취상태에 대한 국내 연구의 경우, 국민건강영양조사 자료를 바탕으로 분석한 보고에서 한국인의 경우 비타민 D 상태가 매우 취약하며, 남성보다는 여성이, 연령대별로는 20대가 가장 취약한 것으로 보고하고 있다(Choi 등, 2011; Jung, 2013). Moon과 Han(2012)은 우리나라에서 권장하는 비타민 D 일일 섭취량은 성인 기준 충분 섭취량 400 IU(international unit), 상한 섭취량 4,000 IU이라고 했으며, 이는 1일 10 µg 이상에 해당된다. 비타민 D의 급원식품으로 연어, 참치, 고등어, 정어리와 같은 고지방 생선, 간유, 달걀노른자, 우유, 그리고 비타민 강화 마가린과 시리얼, 태양에 말린 목이버섯, 느타리버섯, 표고버섯 등으로 일부 식품에만 함유되어 있어 매우 제한적이다(Kim과 Jo, 2012; Kim과 Kang, 2012). 연구 자료에 의하면 우리 국민이 즐겨 먹는 다소비 식품 중 비타민 D 함량이 가장 높은 것은 ‘꽃송이 버섯’인 것으로 나타

났고, 동물성 식품 중에선 계란이 가장 높은 것으로 조사되었다(Lim과 Kim, 2020).

본 연구에서는 총식이조사 대상 식품에 대하여 식약처 고시 「식품의 기준 및 규격」 일반시험법에 근거하여 LC-MS/MS로 비타민 D를 정량분석하였다. 우리 국민의 평균 총식이섭취량의 90% 이상을 포괄하는 대상 식품 중 비타민 D 주요 급원 식품으로 알려진 항목을 식품성분표(제9개정판)를 참고하여 선정하고, 우리 국민의 식생활에서 활용되는 조리법 선정을 통해 조리된 식품 중 비타민 D의 함량을 평가하였다. 또한, 버섯류의 햇빛 및 자외선 노출시간과 노출형태에 따른 비타민 D 함량변화를 확인하여 식생활 개선에 도움이 되고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험 재료

총식이조사(total diet study, TDS)를 위해 국민건강영양조사 제6-7기(2016년-2018년) 원시자료를 활용하여 분석한 내용을 토대로 일상적으로 섭취하는 식품을 대상 식품으로 선정하고, 식품별 해당 조리법을 분류한 뒤 조리법별 섭취량 비율을 고려한 ‘대표 식품×대표 조리법’으로 구성하여 섭취 직전의 상태로 조리한 것을 시료로 사용하였다. 시료 수집 시 지역적 대표성을 고려하여 전국을 3개의 권역(서울·경기권, 전라·충청권, 강원·경상권)으로 구분하고, 권역별 3개의 도시(‘서울, 인천·수원’, ‘광주, 대전, 청주’, ‘부산, 대구, 울산’ 총 9개 도시)의 인구 규모를 고려하여, ‘서울’, ‘인천’, ‘수원’, ‘부산’, ‘대구, 울산’, ‘대전, 광주, 청주’로 ‘대표 식품×대표 조리법’당 최대 6개의 지역별 시료를 식품의약품안전처의 한국형 총식이조사 수행 지침서에 제시된 방법을 준수하여 조제된 것을 냉동상태로 보관하였으며, 실험 시 상온으로 해동하여 사용하였다. 비타민 D 주요 급원 식품으로 알려진 항목을 식품성분표(제9개정판)를 참고하여 선정해 조리법별로 분석을 진행하였다. 선정된 품목은 버섯류 3종, 어패류 10종, 알류 1종, 육류 7종, 두류 1종, 유류 4종, 가공식품 3종, 유지류 1종으로 총 30종이며, ‘대표 식품×대표 조리법’은 새송이버섯(굽기) 등 21종 조리법 44쌍이며, 조리하지 않은 식품 두유, 우유 등 9종을 포함하여 총 53종의 식품을 대상으로 하였다. 총 53종 대상 식품에 대해 지역

별로 채취한 6개 식품 중에서 1개씩 분석하고, 비타민 D가 검출된 19종 식품에 대해서는 지역별 6개 식품을 모두 분석하여 총 148건의 분석을 진행하였다.

## 2.2. 시약

본 연구에 사용한 비타민 D의 표준품 ergocalciferol (Vitamin D<sub>2</sub>, Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA), cholecalciferol (Vitamin D<sub>3</sub>, Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA)은 각각 1,000 mg/L가 되도록 메탄올로 조제하여 사용하였다. 전처리에 사용되는 피로갈롤·에탄올 용액은 피로갈롤(Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 에탄올(Daejung Chemicals, Si-heung, Korea)에 녹여 조제하였다. BHT(Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 헥산(J.T Baker, Center Valley, PA, USA)에 녹여 0.01% BHT를 함유하는 헥산으로 조제하여 사용하였고, 수산화칼륨(Daejung Chemicals, Si-heung, Korea)을 초순수에 녹여 1 N, 0.5 N으로 조제하여 사용하였다. 페놀프탈레인(Daejung Chemicals, Si-heung, Korea)은 메탄올(J.T Baker, Center Valley, PA, USA)에 녹여 사용하였다. 수세한 헥산 탈수용으로 무수황산나트륨(Daejung Chemicals, Si-heung, Korea)을 사용하였다. 전처리 용매는 메탄올(J.T Baker, Center Valley, PA, USA), 헥산(J.T Baker, Center Valley, PA, USA)을 사용하였고, 물은 초순수장치(Milli-Q, Millipore, Billerica, MA, USA)로 18 M $\Omega$  이상의 초순수를 사용하였다. 기기분석 용매로는 HPLC 등급의 메탄올(J.T Baker, Center Valley, PA, USA)에 아세트산암모늄(Daejung Chemicals, Si-heung, Korea)을 녹여 사용하였다.

## 2.3. 비타민 D 분석

비타민 D의 분석은 식약처 고시 「식품의 기준 및 규격」의 분석법을 사용하였다.

시료 약 1 g을 비누화 플라스크에 취하여 10% 피로갈롤·에탄올 용액 40 mL를 가한 후 약하게 진탕 혼합한다. 90% 수산화칼륨 용액 10 mL를 가하고 환류냉각기를 부착하여 비등수욕 중 60°C에서 1시간 가열하여 비누화 후 분리하여 즉시 실온으로 냉각한다. 비누화 플라스크 속 추출액을 250 mL 폴리에틸렌 병에 옮긴다. 이때 초순수로 비누화 플라스

크 속 남아있는 추출액을 씻어내어 모두 취한다. 250 mL 폴리에틸렌 병에 0.01% BHT를 함유하는 헥산 50 mL를 가하고 10분간 강하게 진탕한다. 진탕 후 층 분리가 될 때까지 방치한 뒤 헥산 층을 250 mL 갈색 분액깔때기로 옮긴다 (층 분리가 원활하지 않을 때는 4°C, 3,500 rpm에서 10분간 원심분리). 남은 하층에 헥산 추출용매 50 mL를 넣어 총 2회의 추출을 진행한다. 추출용액에 1 N 수산화칼륨 용액 100 mL를 가하여 15초간 강하게 진탕 후 방치하여 층을 분리하고 흔탁한 물 층을 버린다. 그 뒤 남은 헥산 층에 0.5 N 수산화칼륨 용액 40 mL를 가하여 진탕한 후 방치하여 층을 분리하고 물 층을 다시 버린다. 헥산 층에 증류수를 약 100 mL 첨가하여 15초간 강하게 진탕 후 방치하여 층을 분리하고 흔탁한 물 층을 버린다. 세척된 물이 페놀프탈레인 시액으로 알칼리 반응을 나타내지 않을 때까지 수 회 반복하여 수세한다. 수세한 헥산 층에 무수황산나트륨을 약 15 g 넣고 진탕하여 탈수 후 헥산 층을 갈색 등근바다 플라스크로 옮기고, 무수황산나트륨을 헥산 10 mL로 2회 세척한 후 탈수한 헥산 용매와 합하고, 이를 40°C 이하에서 감압 농축한다. 농축한 시료에 메탄올 2 mL를 가하여 잔류물을 녹인 후 멤브레인 필터(PTFE, 0.22  $\mu$ m)로 여과하여 LC-MS/MS (LC-8050, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 분석하였다. 분석조건은 Table 1과 같다.

## 2.4. 통계처리

통계분석은 SAS 9.4(SAS Institute, Cary, NC, USA)의 survey procedure를 이용하여 국민건강영양조사의 연도별 통합가중치와 분산추정층, 집락추출을 고려하여 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 비타민 D 분석법 유효성 검증

비타민 D 분석방법에 대한 유효성 검증을 위해 Codex 가이드라인(CAC/GL 71-2009)에 따라 검량선의 직선성(linearity)을 확인하였다. 비타민 D<sub>2</sub>는 10-100  $\mu$ g/kg의 농도범위, 비타민 D<sub>3</sub>는 5-100  $\mu$ g/kg의 농도범위에서 0.999 이상의 correlation coefficient값을 얻었다. 정확성(accuracy)을 확인하기 위하여 표준물질을 매질에 첨가

**Table 1.** Operating conditions to HPLC-MS/MS

Parameters		Conditions	
HPLC	Flow rate	0.45 mL/min	
	Column	C <sub>18</sub> 150x2.1 mm, 2.7 μm	
	Column temperature	40°C	
	Mobile phase	Isocratic 5 mM ammonium acetate/MeOH (5/95)	
	Injection volume	1 μL	
MS/MS	Interface	ESI	
	Nebulizing gas flow	3 L/min	
	Heating gas flow	10 L/min	
	Interface temperature	300°C	
	DL temperature	250°C	
	Heat block temperature	400°C	
	Vitamin D <sub>2</sub>	Precursor ion	397.30
		Product ion	107.1, 105.1, 91.0
	Vitamin D <sub>3</sub>	Precursor ion	385.10
Product ion		107.1, 105.1, 79.1	

(spiking)하여 분석의 모든 과정을 통해 얻은 결과값(spike recovery)으로 정확도(회수율)를 계산하였다. 회수율 실험 시 비타민 D<sub>2</sub>는 볶은 표고버섯에 12.5 μg/kg의 수준으로, 비타민 D<sub>3</sub>는 삶은 계란에 25 μg/kg 농도 수준으로 첨가하여 3회 반복실험을 하였으며, 회수율 결과는 비타민 D<sub>2</sub>는 93.7±5.3%, 비타민 D<sub>3</sub>는 96.9±5.1%로 codex 허용범위 80-110%를 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 검출한계(limit of detection, LOD)는 시료에 존재하는 분석 대상물질을 검출할 수 있는 최소농도로, 검량선의 최저농도를 7회 측정하여 분산(variance, S)과 표준편차(SD)를 계산한 후 표준편차(SD)×3.3/S로 계산하였다. 정량한계(limit of quantification, LOQ)는 표준편차(SD)×10/S값으로 계산하였다. 비타민 D<sub>2</sub>의 LOD는 0.005 mg/kg, 비타민 D<sub>3</sub>의 LOD는 0.002 mg/kg으로 본 분석방법이 적합함을 보여주었다.

### 3.2. 비타민 D 분석 내부품질관리

비타민 D 분석방법에 대한 검증을 위해 인증표준물질(certified reference material, CRM)을 사용하였다. NIST(National Institute of Standard and Technology, NIST) SRM1849a(Infant/Adult Nutritional Formula-I)

로 검증한 결과, 비타민 D<sub>3</sub> 인증값 0.111 mg/kg에 대해 3반복 분석결과 0.107 mg/kg의 값을 얻었고, 회수율 96.7±8.8%의 결과를 얻었다.

### 3.3. 비타민 D 분석 외부품질관리

비타민 D 분석에 대한 숙련도를 평가하기 위하여 영국의 국제 분석 관리프로그램인 FAPAS(Food Analysis Performance Assessment Scheme)의 숙련도 프로그램(proficiency tests) 21115(infant formula)에 참여하였고, 허용범위(|Z| < 2) 이하인 -1.6의 적합한 결과를 얻을 수 있었다.

### 3.4. 식품에서의 비타민 D 함량

본 연구에서는 식품 30종에 대해 '대표 식품×대표 조리법'으로 조리된 시료 총 148건에 대하여 비타민 D를 분석하였으며, 분석결과는 Table 2와 같다. 어류 중 고등어(굽기)는 39.1-120.2 μg/kg, 고등어(부치기)는 24.2-49.4 μg/kg으로 검출되었고, 멸치(볶기)에서는 29.0-124.0 μg/kg으로 검출되어, 멸치(볶기)가 분석한 어류 9종 중 가장 높게 검출이 되었다. 가다랭이(그대로)는 11.6-29.2 μg/kg으로 검출

**Table 2.** Vitamin D content in foods (mushrooms, fishes and shells, eggs, meat, pulses, milk, cereals, oils)

Food group	Food name	Cooking method	Concentration ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )				
			n	Vitamin D <sub>2</sub>	n	Vitamin D <sub>3</sub>	
Mushrooms	King oyster mushroom	Broiling	1	ND	1	ND	
		Boiling	1	ND	1	ND	
		Stir-frying	1	ND	1	ND	
	Oyster mushroom	Boiling	1	ND	1	ND	
		Stir-frying	1	ND	1	ND	
	Shiitake	Boiling	1	ND	1	ND	
		Stir-frying	1	ND	1	ND	
	Fishes and shells	Bonito	As is/raw	6	ND	6	11.6–29.2
Boiling			6	ND	6	5.4–17.3	
Stir-frying			6	ND	6	7.6–24.6	
Pollack		Boiling	1	ND	1	ND	
Mackerel		Broiling	6	ND	6	39.1–120.2	
		Pan frying	6	ND	6	24.2–49.4	
Anchovy		Stir-frying	6	ND	6	29.0–124.0	
Squid		Stir-frying	6	ND	6	ND–7.6	
Shrimp		Stir-frying	1	ND	1	ND	
Mussel		Stir-frying	1	ND	1	ND	
Scallop		Broiling	1	ND	1	ND	
Oyster		As is/raw	1	ND	1	ND	
Processed products		Fish cake	Boiling	1	ND	1	ND
			Stir-frying	6	ND	6	4.6–13.4
Eggs	Egg	Pan frying	6	ND	6	7.8–33.1	
		Simmering	6	ND	6	1.7–8.2	
		Boiling	1	ND	1	ND	
Meat and meat products	Chicken	Deep frying	1	ND	1	ND	
		Boiling	1	ND	1	ND	
	Beef	Broiling	6	ND	6	ND	
		Boiling	1	ND	1	ND	
		Stir-frying	1	ND	1	ND	
	Beef, by-products	Broiling	1	ND	1	ND	
		Boiling	1	ND	1	ND	
	Pork	Deep frying	1	ND	1	ND	
		Broiling	6	ND	6	ND–12.2	
		Stir-frying	6	ND	6	ND–7.7	
		Boiling	1	ND	1	ND	

(continued)

Food group	Food name	Cooking method	Concentration ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )			
			n	Vitamin D <sub>2</sub>	n	Vitamin D <sub>3</sub>
Meat and meat products	Pork, by-products	Simmering	1	ND	1	ND
		Boiling	1	ND	1	ND
	Pork products, ham	As is/raw	6	ND	6	ND-6.8
		Boiling	1	ND	1	ND
		Stir-frying	1	ND	1	ND
		Pan frying	6	ND	6	ND-4.1
	Sausage	Boiling	1	ND	1	ND
		Blanching	1	ND	1	ND
		Stir-frying	1	ND	1	ND
Pulses	Soybean milk	As is/raw	6	ND	6	3.1-15.3
Milk and milk products	Milk	As is/raw	1	ND	1	ND
	Cheese	As is/raw	1	ND	1	ND
	Semisolid yoghurt	As is/raw	6	ND	6	ND-5.1
	Liquid yoghurt	As is/raw	6	ND	6	ND-136.9
Processed products	Cereal	As is/raw	6	ND	6	64.5-155.1
	Biscuit, cookie	As is/raw	1	ND	1	ND
	Snack cookies	As is/raw	1	ND	1	ND
Oils	Perilla oil	As is/raw	1	ND	1	ND

<sup>1</sup>)ND, not detected.

되었고, 가다랭이(볶기)는 7.6-24.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 가다랭이(끓이기)는 5.4-17.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로, 그대로와 볶기보다 끓이기에서의 농도가 낮게 검출되었다. 오징어(볶기)는 7.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 검출되었고, 명태/동태(끓이기), 새우(볶기), 홍합/진주담치(볶기), 가리비(굽기), 굴(그대로)에서는 검출되지 않았다. 검출되지 않은 품목에 대해 식품성분표(9개정판) 결과를 비교해 보았을 때, 명태(구운 것)에서 13  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 검출되었지만, 명태(생것)에서는 검출되지 않았다. 홍합, 가리비, 굴의 경우는 식품성분표(9개정판)에서도 검출이 되지 않았다. 생선을 가공한 어묵은 ND-13.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 검출되었고, 달걀은 ND-33.1  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 의 농도로 비타민 D<sub>3</sub>가 검출이 되었다. 달걀은 노른자에서 비타민 D<sub>3</sub>가 더 높은 농도로 존재한다고 알려져 있는데, 이번 분석에서는 시료 수집 시 흰자와 노른자를 분리하지 않고 달걀 전체를 균질화하여 분석하였다. 닭고기와 쇠고기의 경우, 모든 조리법에서 검출이 되지 않았고,

돼지고기(굽기)에서 12.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 돼지고기(볶기)에서 7.7  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 의 농도로 검출이 되었다. 이는 쇠고기와 닭고기에 비해 돼지고기에 지방이 많아 육류 중 높은 농도로 검출이 된 것으로 보인다. 두유에서는 3.1-15.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 의 농도로 검출이 되었고, 콩은 버섯처럼 식물성 sterol에서 비타민 D<sub>2</sub>가 생성이 되는 것으로 알려져 있는데, 검출된 성분은 비타민 D<sub>3</sub>로, 이는 비타민 D 강화 제품이 포함되어 나온 결과로 확인된다. 유제품의 경우, 식품성분표(제9개정판)에서 강화 우유를 제외한 모든 우유에서 검출되지 않았고, 본 연구에서 유제품 중 우유와 치즈에서는 검출되지 않았지만, 요구르트(액상)에서는 136.9  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 의 높은 농도로 검출이 되었다. 가공식품 중 과자 종류에서는 비타민 D가 검출되지 않았으나, 시리얼에서는 4.5- 155.1  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 의 높은 농도로 검출이 되었는데, 이는 비타민 D<sub>3</sub>를 강화한 제품이 포함된 결과로 보여진다. Shrapnel과 Truswell(2006)에 따르면 비타민

D<sub>2</sub>가 버섯류에서 발견된다고 알려져 있으나, 버섯류(새송이버섯, 느타리버섯, 표고버섯)에서는 비타민 D<sub>2</sub>가 검출이 되지 않았다. Zhu와 Okamura(1995)에 따르면 버섯에 비타민 D<sub>2</sub>가 생성되려면 버섯 속 식물성 sterol인 ergosterol이 자외선에 의해 광분해하여 ergocalciferol이 되는데, 이러한 과정이 시료 수집 과정에 포함되지 않아 검출되지 않은 것으로 간주된다.

### 3.5. 버섯에서의 비타민 D 함량

버섯의 식물성 sterol인 ergosterol이 자외선에 의해 광분해되어 비타민 D<sub>2</sub>가 생성된다고 알려져 있으나, 총식이조사를 위해 조제된 버섯(새송이버섯, 느타리버섯, 표고버섯)의 분석 결과, 비타민 D<sub>2</sub>가 검출이 되지 않았다. 이에 자외선 노출에 의한 비타민 D<sub>2</sub> 생성을 확인하기 위해 실험을 진행하였다. 버섯의 종류는 일반적으로 많이 섭취하는 5종(표고버섯, 목이버섯, 팽이버섯, 느타리버섯, 새송이버섯)으로 선정하였다. 햇빛 노출시간은 1시간, 3시간, 6시간(표고버섯의 경우만 12시간)으로 하여 실내와 실외에서 비교실험을 진행하였다. 노출시간에 따른 버섯의 건조무게(노출시간 전 · 후 무게)를 측정하여 수분 보정된 함량을 비교하였다. 실험 시 버섯은 500 g을 사용하였고, 분석은 1회로 진행하였다. 실내에서 창문에 1시간 햇빛에 노출하였을 때 목이버섯을 제외한 모든 버섯에서 비타민 D<sub>2</sub>가 검출되지 않았다. 실외에서 햇빛에 노출 시간을 다르게 하여 분석한 결과, 생표고버섯의 경우 1시간 노출 시 비타민 D<sub>2</sub>는 35.5 µg/kg에서 12시간 노출 시 303.4 µg/kg으로 약 8.5배 높아졌다. 건조 표고버섯은 실외에서 햇빛에 1시간 노출시켰을 때 47.9 µg/kg, 12시간 노출시켰을 때 1,520.2 µg/kg으로 약 31.7배 높아짐을 확인할 수 있었다. 팽이버섯은 6시간 노출했을 때 1시간 노출시킨 결과값보다 1.4배, 느타리버섯의 경우는 3.5배, 새송이버섯의 경우는 2.7배 높아짐을 확인하였다. 실험한 버섯 모두 햇빛에 노출시킬수록 비타민 D<sub>2</sub>가 높아졌고, 그중 건조 표고버섯이 다른 버섯에 비해 높아짐을 확인하였다. Lim 등(2022)에 따르면 자연 건조한 표고버섯에서 77.59 ± 12.82 µg/100 g 양송이버섯에서 68.81 ± 1.18 µg/100 g, 큰느타리버섯 62.33 ± 4.51 µg/100 g으로 비타민 D<sub>2</sub> 함량이 높아짐을 확인하였다. 목이버섯은 다른 버섯과는 다르게

가공 공정(그대로, 데친 것, 잘라서 건조한 것, 그대로 건조한 것)에 따른 비타민 D<sub>2</sub>의 농도 차이가 없었다고 보고되었는데, 본 연구에서도 실내와 실외 햇빛 노출 시간별 농도가 비슷하게 검출되었다(Lim 등, 2022). 목이버섯의 경우, 구매 시료에서 비타민 D<sub>2</sub>의 농도가 500-700 µg/kg으로 존재해 있었고, 햇빛 노출시간보다는 원시료의 차이로 보여진다(Table 3). 표고버섯의 경우, 햇빛에 노출시킨 형태(버섯의 위, 아래)에 따라 비타민 D<sub>2</sub> 농도의 차이를 확인하고자, 노출형태를 1) 구매 시 포장 그대로, 2) 포장을 제거한 뒤 갖이 위로 향하도록 한 '∩' 모양, 3) 주름이 위를 향하도록 한 'U' 모양까지 총 3가지의 형태로, 버섯을 햇빛에 노출할 때 형태를 다르게 하여 실험을 하였다. 표고버섯의 경우, 비타민 D<sub>2</sub>의 농도가 '∩' 모양으로 1시간 노출시켰을 때에는 7.5 µg/kg, 'U' 모양으로 1시간 노출시켰을 때 52.8 µg/kg으로, '∩' 모양에 비해 'U' 모양으로 건조 시 약 7배 높아짐을 확인할 수 있었다(Fig. 1). 하지만 햇빛에 노출시켜 실험을 진행할 경우, 날씨의 영향을 많이 받아 날씨가 흐린 날 버섯에서 비타민 D<sub>2</sub>가 생성되는지 확인하기는 어려웠다. Choi(2017)의 연구에서 햇빛 속 자외선이 아닌 자외선램프를 이용하여 UV-B를 조사 후 비타민 D<sub>2</sub>의 전구체인 ergosterol이 비타민 D<sub>2</sub>로 전환됨을 확인한 것을 참고하여, 자외선 건조기에 표고버섯을 넣어 자외선을 노출시키는 실험을 진행하였다. 햇빛 노출한 결과와 마찬가지로 자외선 건조기에 넣어 자외선을 노출시킨 건조 표고버섯의 비타민 D<sub>2</sub>의 농도가 '∩' 모양으로 30분 노출시켰을 때에는 115.7 µg/kg, 'U' 모양으로 30분 노출시켰을 때 235.4 µg/kg으로 '∩' 모양에 비해 'U' 모양으로 건조 시 약 2배 높아짐을 확인할 수 있었다. Ko 등(2008)에 따르면 슬라이스된 버섯을 자외선 조사하는 것이 전체 버섯의 주름이나 갓을 조사하는 것보다 조사 노출 면적이 크기 때문에 비타민 D<sub>2</sub>의 함량이 더욱 증가한다고 보고되었고, 이에 따라 노출되는 면이 많은 건조표고버섯(슬라이스)을 자외선 조사하여 비타민 D<sub>2</sub>의 생성을 확인하였다. 자외선에 노출시키지 않은 건조표고버섯(슬라이스)의 비타민 D<sub>2</sub> 농도는 수분 보정한 결과 67.3 µg/kg이었고, 자외선에 30분 노출한 건조표고(슬라이스)의 비타민 D<sub>2</sub> 농도는 수분 보정한 결과 394.4 µg/kg으로 약 5.8배 높게 검출됨을 확인할 수 있었다(Table 4).

**Table 3.** Content of vitamin D<sub>2</sub> in sunlight exposed mushrooms

Food name	Exposed location	Type	Exposed time (h)	Concentration <sup>2)</sup> (µg/kg)
				Vitamin D <sub>2</sub>
Raw shiitake	Indoor	Whole	1	ND <sup>1)</sup>
		Sliced	1	ND
	Outdoor	Whole	1	35.5
			3	27.4
			6	44.7
			12	303.4
		Sliced	1	47.9
			3	42.5
			6	138.9
			12	200.1
Dried shiitake	Indoor	Sliced	1	ND
	Outdoor	Sliced	1	138.3
			3	941.0
			6	1,422.7
			12	1,520.2
Dried wood ear	Indoor	Whole	1	717.6
			3	718.9
			6	546.7
	Outdoor	Whole	1	577.0
			3	624.1
			6	672.0
Enokitake	Indoor	Whole	1	ND
	Outdoor	Whole	1	81.3
			3	74.9
Oyster mushroom	Indoor	Whole	1	ND
			3	67.8
	Outdoor	Whole	1	29.8
			6	103.9
King oyster mushroom	Indoor	Whole	1	ND
	Outdoor	Whole	1	15.5
			3	13.7
			6	41.1

<sup>1)</sup>ND, not detected.

<sup>2)</sup>Moisture correction concentration.





**Fig. 1.** Different types of sunlight exposure to the shiitake mushrooms. (A) wrap-packed and unpacked shiitake mushrooms, (B) “n” shaped shiitake mushrooms without wrapping, (C) “U” shaped shiitake mushrooms without wrapping.

**Table 4.** Content of vitamin D<sub>2</sub> in sunlight and UV light exposed shiitake

Exposed method	Food name	Type	Exposed time (h)	Concentration <sup>2)</sup> (μg/kg)	
				Vitamin D <sub>2</sub>	
Sunlight from outdoor	Raw shiitake (whole)	Wrapped	0.5	ND <sup>1)</sup>	
			1	16.7	
		n <sup>3)</sup>	0.5	ND	
			1	7.5	
			U <sup>4)</sup>	1	52.8
Sunlight from indoor	Raw shiitake (whole)	Wrapped	0.5	ND	
			1	ND	
		n	0.5	ND	
			1	ND	
			3	7.42	
		U	0.5	24.4	
			1	25.8	
3	29.5				
UV light	Dried shiitake (whole)	A	Whole	0	4.7
			n	0.5	115.7
			U	0.5	235.4
		B	Whole	0	3.2
			n	0.5	102.3
			U	0.5	223.5
		C	Whole	0	ND <sup>1)</sup>
			n	0.5	88.4
			U	0.5	104.4

(continued)

Exposed method	Food name	Type	Exposed time (h)	Concentration <sup>2)</sup> (μg/kg)	
				Vitamin D <sub>2</sub>	
UV light	Dried shiitake (sliced)	D	Sliced	0	67.3
			Sliced	0.5	394.4
		E	Sliced	0	ND
			Sliced	0.5	206.6
		F	Sliced	0	ND
			Sliced	0.5	167.9

<sup>1)</sup>ND, not detected.  
<sup>2)</sup>Moisture correction concentration.  
<sup>3)</sup>∩, shiitake top.  
<sup>4)</sup>U, shiitake bottom.

### 3.6. 1인 1일 평균 비타민 D<sub>3</sub> 섭취량 및 섭취량에 대한 식품별 기여도

위 분석 결과를 토대로 개인별 식품섭취량 자료, 개인별 가중치를 적용하여 SAS 9.4(SAS Institute, Cary, NC, USA)의 survey procedure를 이용하여 추정한 비타민 D<sub>3</sub>의 1인 1일 평균 섭취량은 0.99 μg/day(불검출을 0으로 처리)이었다. 극단섭취자(95th percentile)의 섭취량은 4.24 μg/day로 평균 섭취량의 약 4.3배, 50th 퍼센타일(중위수) 섭취량의 15.1배이었고, 결과는 Table 5와 같다. 평균 섭취량을 토대로 비타민 D<sub>3</sub> 섭취에 주로 기여하는 식품을 확인하면 요구르트/액상(31.3%)의 기여율이 가장 높았으며, 달걀(28.1%), 시리얼(11.4%), 고등어(9.6%), 두유(7.5%), 멸치(4.5%), 가다랑어(3.5%), 어묵(1.3%), 요구르트/호상(1.3%), 오징어(0.7%), 돼지고기 가공품, 햄(0.7%)의 순이었다. 위의 섭취 기여율 상위 5가지 식품에 의한 노출량이 전체 노출량의 88.0%이었고, 분석결과는 Table 6과 같다.

## 4. 요약

본 연구에서 식품 중 비타민 D 주요 급원으로 선정한 버섯

류(3종), 어패류(10종), 알류(1종), 육류(7종), 두류(1종), 유류(4종), 가공식품(3종), 유지류(1종)로, 총 30종에 대표 조리법을 포함한 148건에 대해 LC-MS/MS를 이용하여 분석하였다. 우리 국민 평균 총식이섭취량의 90% 이상을 포괄하는 대상 식품을 선별 후 식생활에서 활용되는 조리법 선정을 통해 조제된 실제 섭취 상황에 가까운 한국형 총식이조사를 기반한 ‘대표 식품×대표 조리법’으로서 새송이버섯(굽기), 가다랭이(그대로) 등 53종으로 6개의 지역별 시료를 불검출의 경우 1건만 분석하였고, 검출된 경우 6건 전부 분석하여 총 148건에 대해 비타민 D 함량 및 섭취량을 추정하였다. 분석은 유효성검증 및 국제 분석 관리프로그램인 FAPAS를 참여하여 숙련도 테스트 결과, Z-score 2 이하의 만족하는 결과를 얻어 신뢰도를 검증하였다. 본 연구에서 분석한 ‘대표 식품×대표 조리법’의 비타민 D 결과는 어류에서는 멸치(볶기)에서 124.0 μg/kg의 농도로 가장 높게 검출되었고, 두 번째로 고등어(굽기)에서 120.2 μg/kg의 농도로 검출이 되었다. 달걀의 경우 달걀(끓이기)은 검출되지 않았고, 달걀(부치기)에서 최고 33.1 μg/kg의 농도로 검출이 되었다. 육류에서는 닭고기와 쇠고기는 전부 검출되지 않았고, 돼지고

Table 5. Average and distribution of daily intake of vitamin D<sub>3</sub> by representative foods (n=32,847)

	ND processing <sup>1)</sup>	Daily intake of vitamin D <sub>3</sub>								
		Mean	(SE)	5th	10th	25th	50th	75th	90th	95th
Vitamin D <sub>3</sub> (μg/day)	LB	0.99	(0.0196)	0.00	0.00	0.00	0.28	1.05	2.98	4.24

<sup>1)</sup>LB, lower bound.

**Table 6.** Food-specific contribution rate (%) to vitamin D<sub>3</sub> intake ( $\mu\text{g}/\text{day}$ )

Vitamin D <sub>3</sub> amount of intake ( $\mu\text{g}/\text{day}$ )			
Foods	Mean	Contribution rate (%)	Cumulative contribution rate (%)
Yogurt, liquid	0.310	31.3	31.3
Egg	0.280	28.1	59.4
Cereal	0.110	11.4	70.8
Mackerel	0.100	9.6	80.4
Soymilk	0.070	7.5	88.0
Anchovy	0.050	4.5	92.5
Bonito	0.030	3.5	96.0
Fish cake	0.010	1.3	97.3
Yogurt, semisolid	0.010	1.3	98.5
Squid	0.010	0.7	99.3
Processed pork, ham	0.010	0.7	100.0

기의 경우 굽기에서  $12.2 \mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 검출되었다. 유제품의 경우 요구르트(액상)에서  $136.9 \mu\text{g}/\text{kg}$ , 가공식품 중 시리얼의 경우,  $155.1 \mu\text{g}/\text{kg}$ 의 농도로 비타민 D가 검출이 되었는데, 이는 비타민 D 강화 제품으로 보인다. 생표고버섯을 햇빛에 12시간 노출 시에 비타민 D 함량이  $303.4 \mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 높았으며, 건조형태에 따라 갓이 위로 향할 때보다, 주름부분을 위로 향하였을 때 비타민 D<sub>2</sub>의 함량이 높음을 확인하였다. 비타민 D 함량 분석 결과를 토대로 섭취량을 추정된 결과, 우리 국민의 1인 1일 평균 비타민 D 섭취량은  $0.99 \mu\text{g}/\text{day}$ 이었으며, 비타민 D 섭취량에 기여한 중요 3가지 식품은 요구르트, 액상(31.3%), 달걀(28.1%), 시리얼(11.4%) 순이었다. 보건복지부와 한국영양학회에서 제공하는 한국인 영양소 섭취기준(2020년) 중 비타민 D의 1일 충분 섭취량(영양소의 필요량을 추정하기 위한 과학적 근거가 부족할 경우, 대상 인구집단의 건강을 유지하는 데 충분한 양을 설정한 수치)은 영유아  $5 \mu\text{g}/\text{day}$ , 남녀 6세부터 75세 이상  $5-15 \mu\text{g}/\text{day}$ 로 본 연구에서 추정된 1인 1일 평균섭취량과 비교하였을 때, 우리 국민의 비타민 D 섭취가 부족하다는 것을 확인할 수 있었다. 비타민 D 부족을 개선하기 위해 생활양식이나 식습관을 통해 비타민 D를 증가시킬 수 있는 식품을 섭취하고, 부족한 부분은 보충제를 통한 비타민 D 섭취가 필요할 것으로 보인다. 버섯의 경우 햇빛 또는 자외선에 노출시키면 비타민 D 섭취량을 높일 수 있다. 식습관을 통해 비

타민 D 부족을 개선할 수 있는 다양한 연구가 필요하다고 생각된다.

#### Acknowledgements

본 연구는 식품의약품안전처의 지원을 받아 수행된 연구입니다(20190116749-00, 한국형총식이조사).

#### Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

#### Author contributions

Conceptualization: Seo MJ. Data curation: Lee JY, Kim CI, Lee GH. Formal analysis: Seo MJ, Roh IH, Lee GH. Methodology: Seo MJ, Lee GH. Validation: Kwon SO, Lee GH. Writing - original draft: Seo MJ. Writing - review&editing: Seo MJ, Roh IH, Lee GH.

#### Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

#### ORCID

Min-Jeong Seo (First author)

<https://orcid.org/0000-0001-8999-7692>

In-Hwa Roh  
<https://orcid.org/0000-0001-6929-2695>  
 Jee-Yeon Lee  
<https://orcid.org/0000-0002-4017-6508>  
 Sung-Ok Kwon  
<https://orcid.org/0000-0003-0527-1427>  
 Cho-Il Kim  
<https://orcid.org/0000-0002-6495-8483>  
 Gae-Ho Lee (Corresponding author)  
<https://orcid.org/0000-0003-1856-4288>

## References

- Binkley N, Krueger D, Cowgill CS, Plum L, Lake E, Hansen KE, DeLuca HF, Drezner MK. Assay variation confounds the diagnosis of hypovitaminosis D: A call for standardization. *J Clin Endocrinol Metab*, 89, 3152-3157 (2004)
- Choi HJ. New insight into the action of vitamin D. *Korean J Fam Med*, 32, 89-96 (2011)
- Choi SJ. Enhancement of ergocalciferol (vitamin D) content in mushrooms by UV irradiation. *Korean J Food Preserv*, 24, 381-386 (2017)
- Heudi O, Trisconi MJ, Blake CJ. Simultaneous quantification of vitamins A, D<sub>3</sub> and E in fortified infant formulae by liquid chromatography-mass spectrometry. *J Chromatogr A*, 1022, 115-123 (2004)
- Holick MF. Sunlight and vitamin D for bone health and prevention of autoimmune diseases, cancers, and cardiovascular disease. *Am J Clin Nutr*, 80, 1678-1688 (2004)
- Hollis BW, Horst RL. The assessment of circulating 25(OH)D and 1,25(OH)<sub>2</sub>D: Where we are and where we are going. *J Steroid Biochem Mol Biol*, 103, 473-476 (2007)
- Ilie PC, Stefanescu S, Smith L. The role of vitamin D in the prevention of coronavirus disease 2019 infection and mortality. *Aging Clin Exp Res*, 32, 1195-1198 (2020)
- Jung IK. Prevalence of vitamin D deficiency in Korea: Results from KNHANES 2010 to 2011. *J Nutr Health*, 46, 540-551 (2013)
- Kim CI, Park HM, Lee HS, Kim DH, Lee JY, Yon MY. A Guidebook for Korean Total Diet Studies. Ministry of Food and Drug Safety. Report No. 11-1471000-000303-01 (2017)
- Kim HJ, Jo SY. Korean guidelines for breast-fed infants for vitamin D supplements. *J Korean Oriental Pediatrics*, 26, 70-78 (2012)
- Kim JI, Kang MJ. Recent consumption and physiological status of vitamin D in Korean population. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 17, 7-10 (2012)
- Ko JA, Lee BH, Lee JS, Park HJ. Effect of UV-B exposure on the concentration of vitamin D<sub>2</sub> in sliced shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) and white button mushroom (*Agaricus bisporus*). *J Agric Food Chem*, 56, 3671-3674 (2008)
- Kwon MY, Yang SJ. Risk factors associated with vitamin D deficiency among women office workers. *J Korean Public Health Nurs*, 31, 84-96 (2017)
- Lim JS, Kim HJ, Lee SH, Choi YM, Lee SP. Analysis of vitamin D content of frequently-consumed foods. *Korean J Food Preserv*, 29, 70-83 (2022)
- Ministry of Food and Drug Safety. Korean Food Standards Codex. Cheongju, p 427-430 (2022)
- Ministry of Health and Welfare, The Korean Nutrition Society. Dietary Reference Intakes for Koreans 2020. Sejong (2020)
- Moon YS, Han SH. Vitamin D deficiency and cognitive dysfunction. *Dement Neurocogn Disord*, 11, 111-117 (2012)
- Plum LA, Deluca HF. Vitamin D, disease and therapeutic opportunities. *Nat Rev Drug Discovery*, 9, 941-955 (2010)
- Pyo J, Gu J, Kim TH, Lee JJ, Hwang MS, Kang JS, Kim KM. A study on increased content of vitamin D in different types of mushrooms. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 49, 311-315 (2020)
- Shin MY, Kwun IS. Vitamin D: Hormone-like nutrient. *J Nutr Health*, 49, 1-7 (2016)
- Shrapnel W, Truswell S. Vitamin D deficiency in

Australia and New Zealand: What are the dietary options? *Nutr Diet*, 63, 206-212 (2006)

Tangpricha V, Koutkia P, Rieke SM, Chen TC, Perez AA, Holick MF. Fortification of orange juice with vitamin D: a novel approach for enhancing

vitamin D nutritional health. *Am J Clin Nutr*, 77, 1478-1483 (2003)

Zhu GD, Okamura WH. Synthesis of vitamin D (calciferol). *Chem Rev*, 95, 1877-1952 (1995)