

특집: 푸드테크와 식품 정보

기능성 농식품자원, 인지질 데이터베이스 및 활용 현황

신정아^{1*} · 이기택² · 이정희³¹국립강릉원주대학교 해양바이오식품학과²충남대학교 식품공학과³대구대학교 식품영양학과

A Functional Agricultural Food Resource, Phospholipids Database and Its Utilization Status

Jung-Ah Shin^{1*}, Ki-Teak Lee², and Jeung-Hee Lee³¹Department of Marine Bio Food Science, Gangneung-Wonju National University, Korea²Department of Food Science and Technology, Chungnam National University, Korea³Department of Food and Nutrition, Daegu University, Korea

서 론

국내에서 생산 소비되는 농식품자원류(곡류 및 그 제품, 감자류 및 전분류, 당류, 두류, 견과류 및 종실류, 채소류, 버섯류, 과일류, 육류 및 그 제품, 난류 등 총 20개의 식품군) 3,270점에 대하여 130 성분의 영양성분들을 수록한 “국가표준 식품성분표”를 농촌진흥청에서 발간하고 있다(1). 1981년 제2개정판부터 5년 주기로 국가표준 식품성분 데이터베이스(database, DB)를 근간으로 식품에 대한 열량, 무기질, 비타민, 식이섬유 등의 영양성분들을 수록하여 현재에는 “국가표준식품성분표 제10개정판”이 발간되었다(1). 지속적으로 한국인이 섭취하는 상용 식품을 중심으로 식품군별 영양성분들의 신뢰성 있는 정보를 제공함으로써 국민의 건강한 식생활 개선을 위한 기초자료로 활용할 수 있다. 국가 차원에서 농식품자원과 식품의 영양성분 DB 구축이 지속적으로 추진됨에 따라 정책적으로는 한국인 소비 식품에 대한 분석 데이터를 기반으로 식품, 영양, 보건 정책 수립 및 추진에 활용할 수 있으며, 식품성분 활용 콘텐츠 및 eHealth 케어, 맞춤형 푸드테크 기술 개발의 기반 자료로 활용할 수 있다. 산업적으로는 원료 농식품자원으로부터 가공식품을 제조할 때 영양성분 함량에 대한 기초자료 제공에 활용할 수 있다.

시대를 반영하는 영양성분 DB는 국민 개인의 건강

한 식생활 관리를 위한 기반을 마련하고, 산업계에서는 생산한 제품의 영양성분 함량 관리에 이용되며, 제품 개발 시 영양성분 표시를 위한 함량 계산 등에 사용되고 있다. 반면에, 기능성 성분 DB 구축은 2015년부터 농촌진흥청에서 플라보노이드(flavonoids)를 중심으로 DB화 작업을 시작하였으며, 현재에는 농식품자원에서 다양한 기능성 성분 분석과 DB 구축 확대를 위한 연구의 필요성이 점차 증대되었다.

유럽 및 미국 등은 식품 공급의 변화 속도가 급격히 변화함에 따라 이에 맞춰 식품 데이터 기반 국민 건강 식생활 지원을 위하여 자국 농산물의 기능성 성분 DB를 구축하고 지속적으로 갱신하고 있다.

국내에서 농식품자원에 함유된 기능성 성분 DB는 농촌진흥청 국립농업과학원의 식품영양·기능성 정보에서 플라보노이드(catechin, isoflavone, quercetin, anthocyanin 등)와 페놀산(hydroxycinnamic acid, hydroxybenzoic acid 등)에 대한 정보를 수록하고 있으며, 이들 DB 자료는 라이브러리 및 문헌참고 성분들과 2015년부터 자체 동정 및 정량한 성분들을 같이 수록하고 있다(플라보노이드 DB: 식품 268점 476 성분, 페놀산 DB: 식품 308점 425 종류)(2,3).

그러나 자체 분석한 농식품자원의 기능 성분 및 식품의 수가 적기 때문에 기능성 DB 활용에 제한이 있다. 이에 따라 2022년부터 농촌진흥청을 중심으로 기능성 성분들을 인지질, 안토시아닌, 리그난, 알칼로이

*Corresponding author. E-mail: jashin@gwnu.ac.kr

드, 카로티노이드, 파이토스테롤 등으로 확대하여 DB 구축을 진행하고 있다.

기능성 성분은 영양성분들과는 다르게 생리활성 물질로 인식되어 농식품자원에 함유된 기능성 성분 DB 구축의 필요성이 점차 증대되었다. 미국(USDA Agricultural Research Service) 및 유럽(INRA, Phenol-Explorer)에서는 플라보노이드, 페놀류(phenolics), 테르펜류(terpenes), 콜린(choline) 등의 기능성 성분들이 포함된 DB가 개발되어 제공되고 있다. 특히 미국(2008년)에서는 식품 630점에 대한 betaine, total choline, free choline, glycerophosphocholine(GPC), phosphocholine, phosphatidylcholine(PC), sphingomyelin(SM) 등 7종의 정보를 수록한 콜린 DB를 구축하였다(4,5). 콜린은 세포막(bilayer)에서 인지질의 합성, 메틸 그룹대사, 아세틸콜린 합성 및 콜린성 신경 전달, 간 손상 예방 등에 중요한 기능성 성분이다(5,6). 콜린은 세포의 정상적인 기능에 관여하고 뇌 발달에 중요하며 임신 중 태아 발달에 중요한 필수 영양성분이다(7,8). 이러한 콜린은 식이로부터 섭취해야 하는 필수 영양성분으로 인식되고 있으며, 자체로 메틸기 대사에

서 중요한 기질이 될 뿐만 아니라 엽산과 비타민 B12 등과 대사적으로 상호 연관되기 때문에, 식품에 함유된 콜린의 함량분석이 중요하게 대두되고 있다(5,6). 미국 NHANES(National Health and Nutrition Examination Survey)에서는 2005~2006년에 자국 내에서 섭취하는 식이로부터 콜린 식이섭취량을 조사하였고, 2007~2008년에 식품 및 음료로부터의 콜린 식이섭취와 콜린 식품 공급원을 조사하여 식품에서 콜린 DB 구축을 위한 근간을 마련하였다(4,9). 1998년 미국 식품 영양위원회 의학연구소는 콜린 충분 섭취량을 낮은 콜린 섭취로 인한 간 손상 연구를 근거로 하여 19세 이상 여성은 425 mg/day, 남성은 550 mg/day로 섭취 기준을 확립하였다(10). 현재 우리나라에서도 콜린 섭취 기준 제정을 위한 연구가 꾸준히 이루어지고 있다(5). 콜린이 많이 함유된 식품은 육류, 가금류, 생선, 곡류 기반 혼합요리(grain-based mixed dishes), 유제품, 달걀과 달걀 요리 등이 있다(그림 1). 콜린은 주로 PC와 SM의 인지질 형태로 존재하며 나머지는 수용성 콜린(free choline, GPC, phosphocholine)으로 존재한다(4,8). 따라서 콜린 함유 인지질류를 중심으로 한

▶ Percent contribution of food categories to choline intake, 2007~2008 (4).

FOOD CATEGORIES [†]	Individuals Reporting [‡] (%)	Contribution to Choline (%)
Meat, Poultry, and Fish		24
Meats: beef, pork, lamb, game	24	9
Deli and Cured Meats: ham, luncheon meats, frankfurters, bacon, sausage	35	6
Poultry: fried and baked chicken, patties, nuggets, turkey, duck	28	6
Fish and Seafood: finfish and shellfish, cakes, salads	11	3
Grain-based Mixed Dishes		13
Pasta and Macaroni Dishes: spaghetti, ravioli, macaroni, lasagna, salads	17	3
Fast Food Sandwiches: sandwiches purchased from fast food outlets	12	3
Pizza: pizza, calzones, pizza rolls	12	2
Mexican and Latin-type Items: burritos, tacos, tamales, nachos, other mixed dishes	8	2
Indian and Asian-type Items: curries, egg rolls, fried rice, stir-fries, sushi	7	2
Rice and Rice Dishes: plain rice, rice dishes w/sauces, meat, beans, and/or vegetables	14	1
Dairy		13
Fluid Milk: flavored and unflavored milks	52	10
Ice Cream and Dairy Items: frozen dairy items, yogurt, shakes, smoothies	36	2
Cheese: all cheese and cheese items	39	1
Eggs and Egg Dishes: scrambled and fried, omelets, quiches, soufflés	19	12
Vegetables		7
Vegetables: salads, canned, fresh, frozen, except white potatoes	54	4
White Potatoes: baked, boiled, mashed, fried, salads, except potato chips	31	2
Beans and Legumes: dried and canned, bean dishes	10	1

[†]Food categories not listed including fruits, soups, savory snacks, nuts and seeds, candies, condiments, sauces and pickled vegetables, salad dressings, spreads, and dips, baby foods, sugar and substitutes, other miscellaneous foods each contribute ≤3% of choline.

[‡]Percentage of individuals reporting the foods in the category at least once on the day.

그림 1. 식품 카테고리별 콜린 섭취에 대한 기여도.

농식품자원의 기능성 DB 구축이 이루어져야 할 것이다.

인지질은 glycerol에 1개의 극성 인산기와 2개의 비극성 지방산이 결합되어 있는 구조를 갖는 polar-lipid로서 유화기능을 가지며, 콜린 유래 인지질은 특히 신생아의 성장과 뇌 발달, 신경조직 형성에 중요한 영양적 기능을 나타낸다(7,8). 인지질은 세포막을 구성하는 주요 인자로 신경 세포막 안정화, 위염 완화, 혈중 콜레스테롤 개선 등이 보고되고 있다. 따라서 농식품자원에 함유된 인지질 함량 분석 DB 구축은 질병 예방 및 농식품 원료에 대한 기능성 정보제공, 고농도 인지질을 함유한 농식품 자원의 확보로 기능성 식품 소재화 연구의 기반이 될 수 있다.

기능성 농식품자원, 인지질 개요

인지질(phospholipids) 분류 및 구조

대부분의 동식물성 식품에 존재하는 인지질은 지질 이중층(lipid bilayer)을 이루며 세포막을 구성하는 주요 성분으로 극성분자(hydrophilic molecule)인 인산 머리 부분(phosphoryl head group)과 비극성분자(hydrophobic molecule)인 두 개의 지방산 꼬리 부분(fatty acid tails group)으로 구성된다(그림 2).

지방질(lipids)에 인이 포함된 구조를 갖는 인지질은 그 기본 골격에 따라 glycerol을 기본구조로 갖는 글리세로인지지방질(glycerophospholipid)과 glycerol 대신에 sphingosine을 기본구조로 갖는 스펡고인지지방질(sphingophospholipid)로 나뉘어진다(그림 2). 동식물성 식품에 존재하는 대부분의 인지질은 글리세로인지지방질의 구조를 가지며, 인산기에 결합하는 극성 구조

[X; 예, 콜린, 에탄올아민(ethanolamine), 세린(serrine), 이노시톨(inositol) 등]의 유형에 따라 PC, phosphatidylethanolamine(PE), phosphatidylserine(PS), phosphatidylinositol(PI) 등으로 구분된다(표 1). 식품자원에 주로 존재하는 인지질류는 PC와 PE이며 PS, PI는 미량 함유하고 있다. 스펡고인지지방질류 중에서 극성 그룹(X)에 ethanolamine의 구조를 갖는 SM은 뇌와 신경조직을 구성하며, 주로 동물성 식품에서 유래된다.

식품에서 인지질의 분석법 현황

건강기능식품에 관한 법률에 따르면 ‘건강기능식품’은 인체에 유용한 기능성을 가진 원료나 성분을 사용하여 제조 가공한 식품을 의미하며, 식품의약품안전처로부터 기능성과 안전성을 인정받은 제품을 의미한다. 지질류에 속하는 인지질(아세톤 불용성) 또는 인지질 포스파티딜콜린(PC)은 건강기능식품의 기능성 원료로서 혈중 콜레스테롤 개선에 도움을 주는 기능성 지표물질로 등록되어 주로 대두와 난황을 원재료로 하는 레시틴 가공식품에 함유되고 있다(11). 일반식품으로서 시중에서 판매되고 있는 크릴유에는 오메가-3(EPA, DHA) 계열의 지방산류와 인지질을 함유하고 있으며, 크릴유 제조·가공 기준에 따르면 인지질 함량 30% 이상을 함유하도록 하고 있다(12). 건강기능식품공전 시험법에서는 인지질류들이 cold acetone(0~5°C)에서 불용인 성질을 이용하여, 지질류들을 cold acetone법으로 침전물의 함량 즉, 인지질의 함량을 정량분석하고 있다(13). 인지질의 조성 및 함량 변화에 따른 질병과의 관련 연구들이 수행되어 왔고, 기능성 식품소재 기반 연구들이 활발해짐에 따라 개별 인지질들의 다양한 생리활성 기

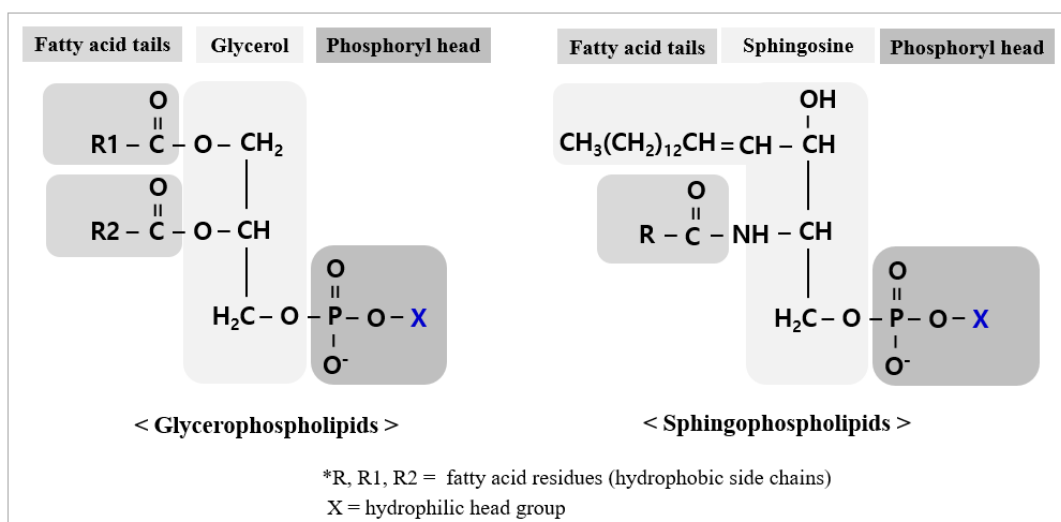
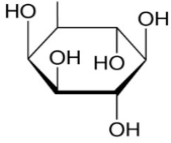


그림 2. 인지질의 기본구조.

표 1. 인지질의 분류와 구조

인지질 분류	인지질 명칭	인지질 약어	pH 7에서 순전하	X의 명칭	X의 구조
Glycerophospholipids	Phosphatidylcholine	PC	0	choline	$-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{N}^+(\text{CH}_3)_3$
	Phosphatidylethanolamine	PE	0	ethanolamine	$-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{N}^+\text{H}_3$
	Phosphatidylserine	PS	-1	serine	$-\text{CH}_2-\underset{\text{COO}^-}{\overset{ }{\text{CH}}}-\text{N}^+\text{H}_3$
	Phosphatidylinositol	PI	-1	inositol	
Sphingophospholipid	Sphingomyelin	SM	0	ethanolamine	$-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{N}^+\text{H}_3$

능 등이 연구 보고되면서 점차 인지질의 총량보다 개별 인지질들의 정량분석법들이 요구되었다(14). 친수성과 친유성의 성질을 모두 갖고 있는 양친매성 분자(amphipathic molecule)인 인지질의 추출을 위해서는 적절한 비율의 chloroform과 methanol 혼합용액(folch: chloroform : methanol=2:1, v/v)을 주로 사용하는 liquid-liquid extraction 방법이 사용된다. 시료로부터 PS, PI와 같은 산성의 인지질류 추출을 위하여 HCl과 같은 산을 첨가하기도 하는데, 이러한 방법은 plasmalogen(글리세롤 골격에서 sn-1 위치에 vinyl ether 결합이 존재하고 sn-2 위치에 ester 결합이 존재하는 ether PL의 한 종류)의 가수분해를 유도한다(14). 세포막에서 중요한 구조적 및 기능적 역할을 하는 plasmalogen은 주로 고등식물 및 동물성 식품류(포유류)에 존재하고 ether-glycerophosphoethanolamine (ether-PE)과 ether-glycerophosphocholine (ether-PC)이 가장 풍부하게 존재하고 있으며, 이들은 산에 매우 민감하여 추출할 때 산을 사용하면 분해를 초래할 수 있다(15). 사람에게서는 인지질 질량의 약 18%가 plasmalogen이 차지하고 있으며, 노화, 알츠하이머, 심장질환, 심근경색 등의 질병과 관련이 있다고 보고된다(15).

시료에 지방의 함량이 높고 인지질 함량이 낮은 식품류에서는 liquid-liquid extraction 방법으로는 효율적인 추출 및 정량을 위한 기기분석에 적용하기 어렵다. 이러한 경우 시료로부터 folch법으로 추출한 인지질 함유 지질추출물을 solid phase extraction(SPE)을 사용하여 과량의 지방류들(triacylglycerol 등)로부터 인지질들을 농축하여 개별 인지질을 분리 정량할 수 있다. SPE의 충전제는 일반적으로 silica gel을 사용하며, folch 추출물에 함유된 지방과 인지질의 함량에 따라 그 용량을 적절히 사용할 수 있다. SPE를 활용한 인지질의 용출은 1) 충전제와 시료 사이의 상호작용을 고

려한 column conditioning, 2) folch 추출물 loading, 3) 충전제와 약하게 상호작용하는 물질을 제거하기 위한 비극성 용매 적용(중성지질류 제거), 4) 충전제에 결합된 원하는 물질을 제거하기 위한 극성 용매 적용(인지질 용출) 등의 순으로 이루어진다. 다양한 matrix의 농식품자원으로부터 추출한 소량의 인지질을 함유한 folch 추출물을 소량의 유기용매를 사용하여 신속하고 효율적으로 인지질을 분리 정제하는 방법으로서 SPE는 그 대안이 될 수 있다.

인지질 분석법으로서 단순하면서 짧은 시간에 여러 개의 시료를 동시에 개별 인지질을 분리 동정하는 방법으로 박막크로마토그래피(thin-layer chromatography, TLC)법이 폭넓게 이용되어 왔다(14). TLC 분석을 위하여 다양한 전개용매들에 대한 연구가 수행되어 왔고, 일반적으로 클로로포름, 메탄올, 물을 적절한 비율로 혼합하여 사용하는 경우가 많다. 여기에 일부 acetic acid, 암모니아 혹은 triethylamine 등을 사용하여 개별인지질들의 분리도를 높이고자 하였다(14,16). 산성 인지질류(PS, PI)들의 분리를 위하여 황산암모늄의 첨가, 1.8% boric acid의 사용 등 다양한 검토가 이루어졌다(16). TLC 분석 후 비파괴적인 검출법으로 PL에 불포화지방산이 존재하는 경우 비가역적으로 지방산의 이중결합에 결합하는 요오드법 그리고 UV lamp를 이용하여 간편하게 확인할 수 있는 primuline 검출법 등이 사용되고 있다(14). 파괴적 검출법으로는 황산, 인산 등의 스프레이를 이용하여 180°C 이상에서 가열하여 검게 그을리는 방법을 사용한다(17).

인지질 정량을 위한 분석법으로 미국유지화학회(AOCS)에서는 레시틴 인지질 분석법으로 HPLC-ELSD 방법을 제시하고 있으며(AOCS, Ja 7c-07), ISO에서도 레시틴에 함유된 인지질 함량을 HPLC-ELSD 방법으로 제시하고 있으며(ISO 11701:2009), 식약처에서는 크릴유에 함유된 인지질 분석법으로 ^{31}P -NMR(1법)과

HPLC-ELSD(2법)를 제시하고 있다. 인지질류에 함유된 지방산의 종류에 따라 같은 종의 인지질이라 하더라도 RT(retention time)가 다를 수 있기 때문에 ^{31}P -NMR과 HPLC-ELSD법이 정량분석법으로 사용되고 있다(18). 증기광산란검출기(evaporative light scattering detector, ELSD)는 분석물질을 이동상과 함께 질소로 분무화하여 분자량이 큰 분석물질들은 빛에 의해 산란되어 검출되는 원리로 측정된다. UV 검출기와 RI 검출기에 비하여 인지질 분자 내 이중결합의 수, 기울기 용리의 이동상, 온도 등에 덜 민감하여 분리능을 향상시킬 수 있으며 matrix가 복잡한 시료에서 인지질 검출에 용이하다(19). 식약처에서 고시한 인지질류들은 PC, LPC, PE, N-acyl-phosphatidylethanolamine (NAPE) 4종을 분리 정량하고 있다. 이때 사용하는 컬럼은 순상(normal-phase)컬럼으로 일반적으로 silica 컬럼이 사용되지만, 분석물질과의 강한 electrostatic interaction 때문에 tailing과 비가역적 흡착으로 인한 컬럼 오염 등의 문제점이 발생함으로 재현성과 분리능을 고려하여 Diol-bonded silica 컬럼을 주로 사용한다(18). 인지질 분리를 위한 이동상으로는 n-헥산, 이소프로판올, 아세트산, 트리에틸아민을 각각 적절한 비율로 사용하며, 이때 사용되는 트리에틸아민의 첨가 비율을 조절하여 개별 인지질의 peak shape와 분리능이 개선될 수 있다. 그림 3는 식약처 시험법에서 modified-gradient를 이용하여 분석한 인지질의 크로마토그램을 나타내었다. ^{31}P -NMR 분석법은 내부표준물질(triphenyl phosphate, TPP)을 사용하여 각각의 개별 인지질들을 정량하는 방법으로 신속하고 비파괴적인 분석법이다(18,19). 이 분석법은 조지방을 함유한 folch 추출물에서 phosphate 그룹을 갖는 인지질만을

선택적으로 분석할 수 있기 때문에 비교적 높은 감도를 갖는 이점이 있다. 양친매성(amphipatic) 구조의 인지질을 ^{31}P -NMR 분석하고자 할 때 전처리 과정에서 $\text{CDCl}_3 : \text{MeOH} : \text{EDTA}$ 혼합물의 비율과 pH, 인지질/detergents(예, sodium cholate, cholic acid, sodium dodecyl sulfate, taurodeoxycholic acid 등)의 비율 등에 따라 분리되는 개별 인지질들의 chemical shift가 다르게 나타난다. 따라서 동일한 분석물질이라 하더라도 전처리 조건에 따라 분리되는 개별 인지질들의 chemical shift가 다를 수 있기 때문에 전처리 조건을 확립할 때 주의가 요구된다. 표 2에서는 인지질 정량을 위한 HPLC-ELSD, ^{31}P -NMR, TLC 분석법에 대하여 요약하였다. 따라서 식품자원에서 인지질의 정성·정량 분석을 위하여 HPLC-ELSD, ^{31}P -NMR과 TLC 등이 활용될 수 있다.

인지질의 활용 현황

첨가물로 사용되는 레시틴류는 난황과 대두로부터 얻어지는 인지질이 주를 이루며, 식물성 레시틴으로서 유채, 목화씨, 해바라기 종자로부터 추출되는 인지질도 사용되고 있다(20). 난황은 31% 내외가 인지질이며 이중에서 PC가 70~80% 내외로 높은 함량을 차지하고 있다(21,22). 대두레시틴의 경우 생산 측면에서 좀 더 경제적이고 안정적인 원료로 간주되고 있다. 레시틴류는 식품, 화장품(유화, 가용화, 세정, 피부미용 기능성 등의 용도), 의약품(리포솜, 지질나노입자 등의 용도) 등에 유화제 및 분산제, 보조제, 전달체 등으로 다양하게 사용되고 있다.

최근 노화 과정에서 막지질의 중요성이 대두되면서 세포막을 구성하는 인지질 molecule의 기능과 작용

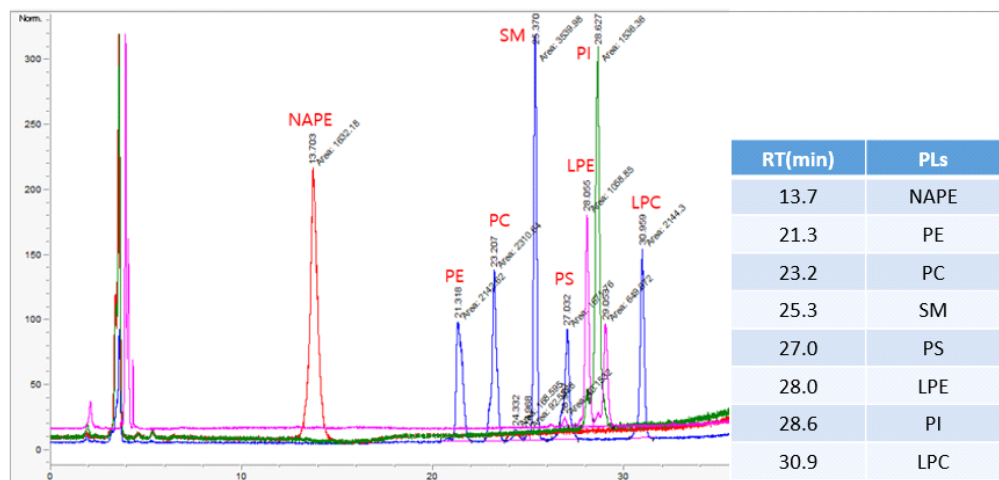


그림 3. HPLC-ELSD에 의해 분석된 인지질.

표 2. 인지질 정량을 위한 분석법 요약

분석법	분석 인지질 종류	장점	단점	Limit of detection (LOD, $\mu\text{g/mL}$)	대상 시료	출처
HPLC-ELSD	PC, PE, LPC, NAPE	-저함량 인지질 정량분석 · 낮은 검출한계 · 높은 민감도 · 높은 분리도	-Non-linear response · 좁은 linear 범위	2.0~7.5	크릴유 보충제, 레시틴류	18,19
31P-NMR	PC, 1-LPC, 2-LPC, PE, NAPE, LPE	-고함량 인지질 정량분석 · 직선성의 감응도 · 높은 선택성 · 쉽고 빠른 결과 보고	-고가장비 필요 · 시료 전처리에 따라 다른 분리도를 보임 · 낮은 민감도	60~3,300	크릴유 보충제, 레시틴류	18~20
TLC	PC, PE, PI, PS, LPC, LPE	-인지질 정성분석 · 높은 재현성	-Lyso form 분리 어려움 · 낮은 민감도	40~150	레시틴류	19,20

mechanism에 관한 연구가 진행됨에 따라 개별 인지질의 역할 및 기능성이 부각되면서 기능성 소재 개발이 활발히 이루어지고 있다(23). PC는 세포에서 가장 많은 양(50% 이상)을 차지하는 인지질로서 인체 내 그 중요성이 보고되고 있다(23). 상업적으로는 천연유화제로 사용되는 대두레시틴과 해바라기레시틴의 경우 PC의 함량에 따라 피부건강(피부장벽 개선, 보습, 미백주름 개선 등)을 위한 기능성 소재로 제공되고 있다(Solus Advanced Materials). 일부에서는 대두와 난황으로부터 인지질을 분리 정제하여, 식품, 화장품 및 의약품 등에 원료로 제공하고 있다(GoshenBiotech). PE는 유기체에서 두 번째로 높은 함량을 나타내는데,식이보충 및 대사를 통한 PE 함량 증가는 수명을 연장할 수 있는 긍정적인 조절자라고 보고하고 있다(23, 24). PS의 경우 많은 노화 관련 병리 효과가 보고되고, 기억력 손상 개선이 보고되면서 건강 기능성 소재로 활용되고 있다(25). 기능성 소재로 사용되고 있는 개별 인지질의 원료로는 soy PS와 milk polar lipids로부터 분리·정제하여 얻어진 PS가 있다. 이들은 분리 정제방법에 따라 순도(20~70% 내외)를 다양하게 하여 식품소재 및 기능성 식품 원료로서 functional food, health & nutritional food, dairy food, inner-beauty supplement, emulsifier 등의 목적으로 활용되고 있다(Solus Advanced Materials).

나노기술 분야에서 약물전달시스템으로서 인지질로 구성된 구조인 리포솜(liposome)에 대한 연구(안정성 개선, 가용성 등)가 활발히 이루어지면서 치료, 미용과 건강(beauty & health), 영양 강화 측면에서 리포솜 시스템을 적용하는 제품들이 앞다투어 출시되고 있다. 또한 최근 코로나19 감염에서 국내 자체 mRNA 백신의 개발 필요성이 대두되면서 국내 개발 전략 수립의 일환으로서 mRNA 설계 및 제조기술과 함께 지질나노

입자(Lipid Nanoparticle, LNP) 기술을 확보하는 것이 관건이 되었다. LNP는 체내에 주입된 mRNA가 분해되지 않으면서 target cell까지 안정적으로 도달하도록 돕는 전달체 역할을 한다. 이로써 전달체 역할을 하는 인지질의 중요성이 부각되면서 mRNA 전달체용 고순도 특정 인지질류[예, DSPC(distearoyl PC)]를 제조하여 제공하고 있다(Avanti Polar Lipid).

2030년 세계의 레시틴 및 인지질 시장을 예측한 “레시틴 및 인지질 시장 보고서”에 따르면, 레시틴 및 인지질 시장 규모는 2021년 51억 7,000만 달러를 기록했으며, 2028년에는 90억 3,000만 달러에 이를 것으로 예측하였다(26). 이렇게 시장 규모가 확대된 것은 기존의 합성유화제에 대한 건강 우려로 “천연유화제”인 인지질이 부각되면서 수요 증가를 불러오고, 의약품 및 퍼스널 케어 업계에서의 니즈가 확대되기 때문이라고 보고하고 있다(26). 따라서 농식품자원에 함유된 인지질의 DB를 구축함으로써 인지질을 고농도로 함유한 우수 농산물을 선별하여 소재 개발을 위한 기반을 마련할 수 있고, 이를 토대로 국내 농식품자원 육성과 바이오 헬스케어 산업 기술개발에 기여할 수 있을 것이다.

결론

세포막을 구성하는 주요 인자인 인지질은 신경 세포막 안정화, 위염 완화, 혈중 콜레스테롤 개선 등 다양한 기능성이 보고되고 있으며, 특히 콜린 유래 인지질은 세포의 정상적인 기능과 뇌 발달에 중요하여 임신 중 태아 발달에 중요한 필수 영양성분으로 대두되고 있다. 미국 및 유럽 등에서는 플라보노이드, 페놀류, 터핀류, 콜린 등의 기능성 성분들이 포함된 DB를 개발하여 제공하고 있다. 이에 비해 국내에서는 플라보노이드와 페놀류를 중심으로 점차로 기능성 DB의 필요성이 증대되

고 있지만, DB 정보 구축은 전반적으로 미진한 실정이다. 기능성 성분인 인지질은 식품첨가물로써 사용되는 레시틴류들이 대부분이며, 주로 난황과 대두를 원료로 생산되어 식품, 화장품, 의약품 등에서 유화제, 분산제, 보조제, 전달체 등 다양하게 사용되고 있다. 인지질은 동식물에 존재하는 글리세로인지지방질로서 PC, PE, PS, PI, SM 등 인산기에 결합하는 극성구조의 유형에 따라 다양한 구조를 나타내며, 천연유화제로서 개별 인지질의 역할 및 기능성이 부각되면서 기능성 소재로의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 개별 인지질의 기능성 소재 개발, 나노기술 분야에서 약물전달시스템으로서 인지질 리포솜 연구, 지질나노입자 기술개발, 천연 유화제 등 의약품 및 퍼스널 케어 업계에서의 시장 수요가 증가함에 따라 농식품 자원에서 인지질의 DB 구축은 소재 연구와 응용에 필요한 기초 자료를 제공할 수 있다. 인지질의 시장 규모가 점차로 확대되고 있는 실정에 비하여 인지질에 대한 식품 정보는 부족한 실정이다. 식품자원에 함유된 인지질의 DB 구축을 위해서는 친수

성과 친유성의 성질을 모두 갖고 있는 양친매성 분자인 인지질의 정확한 분석법 개발과 신뢰성을 확보한 DB 구축 및 정보제공이 이루어져야 한다. 이러한 농식품자원에서 인지질의 정성·정량 분석을 하는 데 있어서 HPLC-ELSD와 31P-NMR, TLC 등의 분석법이 활용될 수 있다. 농식품자원에 함유된 기능성 인지질의 함량 분석 DB 구축은 질병 예방 및 농식품 원료에 대한 기능성 정보를 제공하고, 인지질을 고농도로 함유한 국내 우수 농산물을 선별하여 소재 개발을 위한 기반을 마련할 수 있고, 이를 토대로 국내 농식품자원 육성과 바이오 헬스케어 산업 기술개발에 기여할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 원고는 농촌진흥청 농식품자원 기능성성분 활용기반 고도화(과제번호: RS-2022-RD010069)의 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 농촌진흥청. 국가표준식품성분표 제10개정판. 2021.
2. 농촌진흥청. 플라보노이드 Data Base 1.0. I. 식품의 플라보노이드 함량. 2016.
3. 농촌진흥청. RDA 기능성분 DB 2.0. 페놀산 편(RDA DB 2.0-Phenolic acids). 2018.
4. USDA. USDA Database for the choline content of common foods. Release two. 2008.
5. Shim E, Park JH, Lee Y, Park E. Literature review and future tasks necessary to establish of Korean Dietary Reference Intake for choline. J Nutr Health. 2022. 55:211-226.
6. Institute of Medicine, Food and Nutrition Board. Dietary reference intakes for thiamine, riboflavin, niacin, vitamin B₆, folate, vitamin B₁₂, pantothenic acid, biotin, and choline. National Academies Press, Washington DC, USA. 1998. p 390-422.
7. Sanders LM, Zeisel SH. Choline: dietary requirements and role in brain development. Nutr Today. 2007. 42:181-186.
8. Gossell-Williams M, Fletcher H, McFarlane-Anderson N, Jacob A, Patel J, Zeisel S. Dietary intake of choline and plasma choline concentrations in pregnant women in Jamaica. West Indian Med J. 2005. 54:355-359.
9. Chester DN, Goldman JD, Ahuja JK, Moshfegh AJ. Dietary Data Brief No. 9. Dietary intakes of choline: What we eat in America, NHANES 2007-2008. United States Department of Agriculture (USDA). 2011.
10. Zhao YY, Xiong Y, Curtis JM. Measurement of phospholipids by hydrophilic interaction liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry: the determination of choline containing compounds in foods. J Chromatogr A. 2011. 1218:5470-5479.
11. 식품의약품안전처. 건강기능식품의 기준 및 규격. 2-18 레시틴. 2018.
12. 식품의약품안전처. 식품공전. 제5. 식품별 기준 및 규격. 7. 식용유지류. 2023.
13. 식품의약품안전처. 건강기능식품 공전. 제4. 건강기능식품 시험법. 3. 개별성분별 시험법. 3-33 인지질(아세톤불용물로서). 2022.
14. Dyńska-Kukulska K, Ciesielski W. Methods of extraction and thin-layer chromatography determination of phospholipids in biological samples. Rev Anal Chem. 2012. 31:43-56.
15. Nagan N, Zoeller RA. Plasmalogens: biosynthesis and functions. Prog Lipid Res. 2001. 40:199-229.
16. Vaden DL, Gohil VM, Gu Z, Greenberg ML. Separation of yeast phospholipids using one-dimensional thin-layer chromatography. Anal Biochem. 2005. 338:162-164.
17. Christie WW. Lipid analysis: isolation, separation, identification and structural analysis of lipids. 3rd ed. The Oily Press, Bridgwater, UK. 2003. p 77-81.
18. 식품의약품안전처. 식품의 기준 및 규격 일부개정고시(안) 행정예고. 제2021-464호. 6.3.2.3.1 인지질. 2021.

19. Wang T, Zhou D. Advances in phospholipid quantification methods. *Curr Opin Food Sci.* 2017. 16:15-20.
20. Guiotto EN, Tomás MC, Diehl BWK. 3-Sunflower lecithin. *Polar Lipids.* Elsevier. 2015. p 57-75.
21. Aro H, Järvenpää EP, Könkö K, Sihvonen M, Hietaniemi V, Huopalahti R. Isolation and purification of egg yolk phospholipids using liquid extraction and pilot-scale supercritical fluid techniques. *Eur Food Res Technol.* 2009. 228:857-863.
22. Yoon TH, Kim IH. Phosphatidylcholine isolation from egg yolk phospholipids by high-performance liquid chromatography. *J Chromatogr A.* 2002. 949:209-216.
23. Dai Y, Tang H, Pang S. The crucial roles of phospholipids in aging and lifespan regulation. *Front Physiol.* 2021. 12:775648. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.775648>
24. Rockenfeller P, Koska M, Pietrocola F, Minois N, Knittelfelder O, Sica V, et al. Phosphatidylethanolamine positively regulates autophagy and longevity. *Cell Death Differ.* 2015. 22:499-508.
25. Vakhapova V, Cohen T, Richter Y, Herzog Y, Korczyn AD. Phosphatidylserine containing ω -3 fatty acids may improve memory abilities in non-demented elderly with memory complaints: a double-blind placebo-controlled trial. *Dement Geriatr Cogn Disord.* 2010. 29:467-474.
26. Lecithin and phospholipids market share, size, trends, industry analysis report, by source (soy, sunflower, rapeseed, egg); by type; by application; by nature; by region; segment forecast, 2022-2030. *Polaris Market Research*, New York, NY, USA. 2022.