

Problémy balenia ožiarených potravín

The packaging problems of irradiated foods

I. KAČEŇÁK

Abstract: On the basis of literary data in the article summarized the state of knowledge about the influence of ionizing radiation on food packaging materials foremost plastic. On the basis of experimental works is appreciated the influence of ionizing radiation (^{60}Co) on the permeability of cellophane, polyethylene (Low-pressure, high-pressure), and of biaxial oriented polypropylene foil (varnished, unvarnished) for water vapour and gases (O_2 , CO_2) in the range of doses from 0 to 7,5 kGy (resp. 10 kGy).

Úvod

Ošetrovanie potravín ionizujúcim žiarením môže slúžiť rôznym cieľom. Požiadavky na obalové materiály potravín závisia predovšetkým od veľkosti aplikovanej dávky ožiarovania. Veľkosť dávky ožiarovania závisí od toho, či sa má dosiahnuť úplná devitalizácia mikroorganizmov (dávky okolo 50 kGy), a tým zabezpečiť dlhú trvanlivosť alebo sa má zabezpečiť iba čiastočné zníženie počtu zárodkov (dávky od 1 do 10 kGy), a tým úmerne predĺžiť skladovateľnosť pri chladiarenských teplotách. V prvom prípade ide o sterilizáciu žiarením (radapertizáciu), v druhom o pasterizáciu žiarením (radurizáciu). Ak sa majú ožarovaním devitalizovať patogénne mikroorganizmy (napr. salmonely) je potrebná dávka okolo 5 kGy, ak sa majú usmrtiť insekty (napr. obilní škodcovia), je potrebná dávka iba asi 0,5 kGy [1].

Obaly, obalové materiály a ožarovanie

Ožarovaním potravín po balení (resp. balených potravín) sa vylúči možnosť ich rekontaminácie. Pravidelne sa sterilizácia i pasterizácia ožiarovaním robí v hotovom obale. V tejto súvislosti je teda rozhodujúcou otázkou, ako sa menia obalové materiály pod vplyvom ožiarovania.

Principiálne prichádzajú do úvahy všetky obalové materiály používané pri konvenčných konzervačných postupoch. Použité elektrónové žiarenie sa vyznačuje vysokou prenikavosťou, preto sa na balenie potravín určených na ožiarovanie výhodne môže použiť aj obal z plechu alebo skla. Z plastických

Ing. I. Kačeňák, CSc., Výskumno-vývojová základňa mlynsko-pekárskeho priemyslu, ul. Februárového víťazstva 38, 831 02 Bratislava.

obalových materiálov, ktoré boli predmetom aj nášho záujmu, existujú už príslušnými úradmi povolené typy, ktoré možno použiť na balenie potravín určených na ožarovanie [2]. Sú to napr. z polypropylénových typov Hostalen PP, Vestolen, Cryovac, z polyetylénových typov Lupolen, Hostalen G a z kopolymérov PVC-PVDC Saran, Hostalit a pod.

Prenikavosť žiarenia nezávisí iba od druhu obalového materiálu, ale aj od veľkosti a tvaru obalov. Pri použití maximálne prípustnej energie elektrónov 10 MeV je maximálna prenikavosť tohto žiarenia pri potravinách s vysokým obsahom vody (ovocie, zelenina, mlieko) okolo 5 cm. Využiteľné sú však iba do 3,5 cm — vo zvyšnej vrstve je dávka už nízka oproti strednej dávke v povrchovej vrstve. Pri obojstrannom ožarení nemôže byť teda balenie hrubšie ako 7 cm. Pre nižšie energie sa redukuje táto hodnota lineárne s energiou [3].

Okrem formy a tvaru obalu má význam aj špecifické teplo obalového materiálu. Pri vysokej dávke nemôže byť teplo z absorbovaného žiarenia dost rýchlo odvedené ($10 \text{ kGy} = 10 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$), čo vedie k zvýšeniu teploty v ožarovanom tovare. V potravinách s vysokým obsahom vody so špecifickým teplom $c = 4,2 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ je vzostup teploty málo významný — maximálna dávka 50 kGy spôsobí zvýšenie teploty asi o 12°C . Avšak pri sterilizačných dávkach 50 kGy sa môže napr. teplota nádoby zo skla zvýšiť o 60°C a z plechu až o 110°C . Pri slabých zdrojoch je na dosiahnutie rovnakej dávky potrebné niekoľkohodinové až jednodňové ožarovanie a vznikajúce teplo sa stihne odvieť [3].

Ak berieme do úvahy mikrobiologické aspekty ožarovania, možno všeobecne konštatovať, že ak sa nepoužije sterilizačná dávka, prežíva časť mikrobov obsiahnutých v potravinách ožarovanie. Obal sa musí voliť preto tak, aby vytvoril alebo zabezpečil čo možno najnevhodnejšie podmienky vývoja prežitej mikroflóry. Na to sa používajú všeobecne známe spôsoby balenia a skladovania (vákuové, plynové, nízka teplota, zníženie obsahu vlhkosti, pH a pod.). Pritom sa odôvodnene predpokladá, že fóliové materiály sú nepriepustné pre mikroby a táto vlastnosť sa ani ožarovaním nemení [3].

Podľa druhu potraviny alebo mikroflóry je potrebná suchá alebo vlhká atmosféra, vákuum, dusík alebo iný plyn alebo sa musí dať obalom regulovať. To závisí predovšetkým od fyzikálochemických vlastností obalových materiálov, teda predovšetkým od priepustnosti pre vodnú paru a plyny.

Aj z tohto hľadiska je vplyv plynnej atmosféry na rast a rozmnožovanie mikroorganizmov mimoriadne veľký. Priepustnosť pre plyny a vodnú paru a možný vplyv ožarovania na ňu je už dlho predmetom mimoriadneho záujmu [4, 5].

Priepustnosť pre plyny závisí okrem iného [6] aj od obsahu vlhkosti v atmosfére. Iba málo metód merania to berie do úvahy [5]. Aj priepustnosť pre vodnú paru podstatnou mierou závisí od podmienok stanovenia. Hrá tu napr. veľkú úlohu i to, či je skúšobná fólia v styku s vlhkosťou alebo nie je [7] a pri akej teplote sa pracuje.

Vplyv žiarenia na priepustnosť fólií pre plyny sa skúmal rôzne [7, 8]. V rozsahu do 200 kGy sa pri bežných fóliách neudáva nijaká významná zmena priepustnosti pre vzduch, kyslík a kyslíčnik uhličitý. Iba väčšie štruktúrne zmeny v skladbe plastu môžu viesť aj k zmenám priepustnosti, s tými sa však nestretávame pri ožarovaní potravín v používanom rozsahu dávok.

Ani z hľadiska priepustnosti pre vodnú paru sa doteraz nezistili nijaké signi-

řikantné zmeny ako následok ožiarenia [7]. Výnimku tvorí celofán, ktorého priepustnosť pre vodnú paru sa ožiarením jasne zvyšuje [9].

Z hľadiska hygieny je dôležitá otázka možnosti vzniku indukovanej rádioaktivity pri použití ožarovania zabalených potravín. Za podmienok ožarovania potravín (najvyššia energia 10 MeV, maximálna dávka 60 kGy) sa však nedokázala indukovaná rádioaktivita plastov použitých na balenie [10].

Doteraz neexistuje nijaká uspokojivá metóda na dôkaz ožiarenia potravín. Je stále v štádiu diskusie [11], či by sa niektoré fyzikálne alebo chemické zmeny v obalových materiáloch nemohli stať vhodným indikátorom. Reprodukovateľnosť a citlivosť použitých metód nie sú však zatiaľ na patričnej úrovni.

Zmeny niektorých plastov ožarovaním

Polyetylén — vývoj plynu (z 98 % vodíka), ktorý do 2 MGy stúpa priamoúmerne s dávkou žiarenia. Okrem toho vzniká ešte metán, bután a etylén [12]. Ak sa ožaruje za prítomnosti vzduchu, reagujú na povrchu vzniknuté radikály s kyslíkom za vzniku peroxidov, ktoré sa ďalej menia na karbonylové a karboxylové zlúčeniny. Tieto vytvárajú na povrchu akúsi „voskovú“ vrstvu [13]. Fólie sa dajú po ožiarení lepšie farbiť ako neožiarené.

Polypropylén — pri ožiarení vzniká najmä vodík a malé množstvo metánu. Je citlivejší na kyslík ako polyetylén [14].

Polystyrén — proti ionizujúcemu žiareniu veľmi odolný. Obsahuje veľa aromatických skupín, ktoré účinkujú stabilizačne. Stupeň vývoja vodíka i jeho zosieťovanie je približne o dva rady nižšie ako pri polyetyléne a polypropyléne [15].

Polyvinylchlorid — pri ožiarení vzniká skoro výlučne chlorovodík [11]. Preto sa nepoužíva ako obalový materiál na balenie potravín, s ktorými sa počíta pre vyššie dávky žiarenia (možnosť znižovať pH balenej potraviny). Okrem toho podlieha zosieťovaniu, ktoré sa prítomnosťou kyslíka silne znižuje [17]. Charakteristická je zmena sfarbenia do zelenožltá, tmavočervená až čierna [18].

Polyvinylidénchlorid — vznikajú podobné reakcie ako pri PVC, je však o niečo citlivejší oproti ožarovaniu [18].

Polyamidy (Nylon, Perlon) — ožiarením vznikajú iba v malej miere zosieťovacie reakcie. Okrem toho sa pozoroval aj vývoj plynov, najmä CO a CO₂. V prítomnosti kyslíka vznikajú aj peroxidy a karbonylové zlúčeniny [19].

Polyetyléntereftalát — pri ožiarení okrem tvorby plynov (CO₂, CO, H₂) vznikajú aj karbonylové zlúčeniny [18].

Tabuľka 1 uvádza rezistenciu plastov oproti ožiareniu podľa množstva plynov, ktoré vznikajú pri ožiarení dávkou 60 kGy vo vákuu (10^{-6} Torr = $1,33 \cdot 10^{-4}$ Pa). Podľa zaradenia je napr. polyetylén pomerne citlivý, no bez ohľadu na sledovanú tvorbu plynov sa často používa najmä preto, že je teplom zvariteľný a túto vlastnosť prináša i do kombinovaných fólií.

Okrem toho treba povedať, že napr. pri použití evakuovaných obalov môžu aj niektoré ožiarené potraviny uvoľňovať plyny (prevažne H₂, ďalej CO, CO₂, CH₄). Riešenie sa črtá v týchto prípadoch v použití vhodnej veľkosti fóliového obalu, aby sa vznikajúce plyny mohli v dostatočnom objeme „rozplynúť“ [3].

Skúmali sa aj organoleptické vlastnosti fólií v závislosti od stupňa ožiarenia [20]. Iba pomerne vysoké dávky (nad 100 kGy) spôsobujú už pozorovateľné

Tabuľka 1. Tvorba plynov pri ožiarení dávkou 60 kGy ($\mu\text{mol/g}$ plastu) — podľa [9]

Rozsahy tvorby plynov				
< 1	1 < 5	5 < 10	10 < 20	> 50
polyamidy (Nylon, Perlon)	Nylon 11 (Rilsan)	polyvinylidénchlorid (Saran)	polyetylén (vysokej a nízkej hustoty)	polyacetal
polyestery (Hostaphan, Makrolon)	Nylon 66 (Úlramid)		polypropylén (Hostalen PP)	
polychlór- trifluóretylén (Hostaflon)	polykar- bonát			
Polystyrén (Rhenopor, Trolitul)				
hydrochlorid kaučuku Pliofilm)				

zmeny. V plastoch účinkom ožiarenia do rozsahu dávky 50 kGy nenastávajú ani mechanické, vzhľadové, fyzikálnochemické a ďalšie zmeny [21].

Experimentálna časť

Materiál, metódy a usporiadanie pokusov

Výber obalových materiálov na sledovanie zmien priepustnosti pre vodnú paru a plyny sme robili vzhľadom na ich dostupnosť v ČSSR, pre možnú aplikáciu na balenie hydiny pred ožiarením. Sú to:

1. Celofán MSAT 400 — gramáž 40 g/m²,
2. Sviten, kombinovaný obalový materiál celofán PE — gramáž 65 g/m² (SV),
3. nízkotlakový polyetylén — gramáž 15 g/m² (NT PE),
4. vysokotlakový polyetylén — gramáž 35 g/m² (VT PE),
5. biaxiálne orientovaná polypropylénová fólia nelakovaná — gramáž 18,3 g/m² (BOPP-ON),
6. biaxiálne orientovaná polypropylénová fólia lakovaná — gramáž 29 g/m² (BOPP-OOL).

Niektoré obalové materiály boli pred meraním, resp. ožiarením ešte upravené zmrašťovaním (30 %), ako to vyplýva z výsledkov.

Priepustnosť pre vodnú paru sme stanovovali tzv. dish-metódou podľa metódy vzniknutej kombináciou ČSN 01 9920 [22] a ASTM E 96—66 [23].

Priepustnosť pre plyny sme merali volumetrickou metódou na prístroji firmy Otto Bruggen, München [24].

Ožarovanie vzoriek obalových materiálov sme robili takto:

Z každej vzorky obalového materiálu (vysokotlakový a nízkotlakový polyetylén aj po asi 30 % cielenom zmraštení na modelovom prípravku resp. na

prípravku) sa vystrihli priemerné vzorky (na určenie priepustnosti pre vodnú paru, koliesko o priemere 74 mm a priepustnosti pre plyny, kolieska o priemere 105—108 mm) bez dotyku rúk na exponovaných plochách. V množstvách podľa laboratórnych skúšobných možností sme súbory takto upravených vzoriek vkladali do kartónových prierezov. Takto upravené súbory sme ožarovali na prototypovom zariadení so zdrojom ^{60}Co s dávkovým príkonom 7 kGy/h v ožarovacej komore obsahu 4 l. Postupne boli súbory ožarované dávkami 1, 2, 3, 4, 5, 7,5 kGy a 10 kGy (iba pri celofáne). Takto ožiarené vzorky sa použili priamo na meranie priepustnosti pre vodnú paru (ďalej PPVP) za podmienok 5, 10, 20, 30 a 40 °C a relatívnej vlhkosti 50, 70 a 90% vo všetkých vzájomných kombináciách a priepustnosti pre plyny za podmienok 20 a 30 °C vždy v porovnaní s kontrolnou (neožiarenou) vzorkou (v každom prípade najmenej 3 paralelné vzorky).

Výsledky a diskusia

Tabuľky 2—5 uvádzajú výsledky merania PPVP jednotlivých obalových materiálov.

Z tabuľky 2 je zrejmý vplyv dávky žiarenia na PPVP celofánu. Stúpa priamoúmerne so stúpajúcou dávkou.

Absolútne hodnoty PPVP v závislosti od teploty a relatívnej vlhkosti vykazujú rozličnú mieru presnosti. Najvyššia sa dosiahla pri 30 °C a nižších spádoch a pri 25 °C a vyšších spádoch relatívnych vlhkostí, čo je v súlade s [25].

Zdôvodnenie tak širokého záberu v oblasti teplôt a relatívnych vlhkostí je v tom, že sme chceli zistiť, či priamkové závislosti PPVP od dávky žiarenia platia pri rozličných teplotách a spádoch relatívnych vlhkostí. Možno povedať, že hodnoty PPVP (platí pre všetky dosiahnuté výsledky) dosiahnuté pri +5 °C sa dajú prakticky využiť pre všetky chladiarensky skladované potraviny balené do týchto obalových materiálov.

Výška dávky žiarenia sa pri Svitene začína prejavovať až od 5 kGy, aj to pomerne nevýrazne. Je oprávnený názor, že PPVP Svitenu ovplyvňuje (v smere zvyšovania) výhradne celofán použitý v kombinácii vzhľadom na dosiahnuté výsledky pri polyetyléne.

Zmeny PPVP celofánu MSAT 400 a Svitenu v závislosti od podmienok stanovenia (teplota, relatívna vlhkosť) vykazujú jednoznačné klesanie s klesajúcou teplotou a spádom relatívnych vlhkostí. S podobným javom sa stretneme aj pri plastických fóliách, no absolútne hodnoty rozdielov a hodnôt sú podstatne nižšie.

Ako vyplýva z tabuliek 3—5 nespôsobil použitý rozsah dávok nijaké zmeny v PPVP vzoriek (NT × PE, VT × PE, BOPP). Je to v súlade s literárnymi údajmi, keď na zosieťovanie polymérov, ktoré by mohlo spôsobiť zmeny, je potrebná podstatne vyššia dávka (50 kGy a viac). Zmeny v PPVP namerané pri týchto obalových materiáloch sú spôsobené výlučne zmenou podmienok merania.

Vzhľadom na odolnosť plastov proti použitým dávkam žiarenia možno teda všetky výsledky dosiahnuté pri jednej a tej istej teplote a relatívnej vlhkosti a všetkých dávkach pokladať za paralelné merania. Využitím poznatku vyplývajúceho z tejto úvahy sme získali výsledky uvedené v tabuľke 6. Tu každý údaj PPVP je priemerom 21 meraní.

Zaujímavé a pre praktické balenie potravinárskeho tovaru podstatné je

Tabuľka 2. Zmena priepustnosti celofánu a Svitenu pre vodnú paru v závislosti od dávky žiarenia, teploty a relatívnej vlhkosti stanovenia (g/m².d)

Obal. mat.	Dávka žiarenia [kGy]	40 °C			30 °C			20 °C			10 °C			5 °C		
		50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90
Celofán MSAT 400	O — K	113,5	99,5	73,1	66,8	60,8	54,9	52,6	45,1	35,2	29,5	23,4	18,7	15,1	10,3	8,7
	1,0	126,1	107,2	80,1	73,1	66,1	59,0	55,2	49,2	36,9	31,0	25,1	19,8	16,0	11,0	9,1
	2,0	129,4	111,4	82,9	77,9	69,4	65,1	59,6	51,1	40,1	32,9	27,0	21,4	16,9	11,6	9,7
	3,0	135,0	119,6	86,1	80,4	72,9	67,3	62,0	53,3	42,6	34,8	28,1	22,1	17,8	12,1	10,2
	4,0	143,1	123,8	90,0	83,5	75,1	69,8	65,9	56,7	43,5	36,9	29,6	23,5	18,6	12,8	10,9
	5,0	148,2	127,1	95,6	85,3	79,2	71,0	67,8	58,0	45,3	38,1	30,1	24,0	19,7	13,3	11,4
	7,5	157,1	142,6	106,4	91,7	87,0	77,6	75,1	66,0	48,4	42,5	33,4	27,1	21,1	14,1	12,6
	10,0	180,1	165,1	121,3	110,1	100,4	90,1	84,9	71,8	55,3	48,6	38,6	29,9	24,7	16,3	13,7
	O — K	13,7	11,8	7,3	5,2	4,7	3,5	1,8	1,5	1,2	0,9	0,8	0,5	0,5	0,3	0,2

Obal. mat.	Dávka žiarenia [kGy]	40 °C			30 °C			20 °C			10 °C			5 °C		
		50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90
VT PE — bez zmraštenia	O — K	12,4	11,0	7,3	5,1	4,3	3,3	1,4	1,1	1,0	1,1	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3
	1,0	13,7	9,7	7,2	4,9	4,1	3,2	1,5	1,3	1,1	1,1	0,8	0,7	0,5	0,5	0,3
	2,0	13,1	9,7	7,8	5,4	4,0	2,4	1,7	1,6	1,1	1,1	0,9	0,7	0,6	0,4	0,2
	3,0	13,1	9,6	8,1	5,8	3,9	2,4	1,8	1,1	0,8	1,4	1,0	0,8	0,6	0,4	0,4
	4,0	13,3	10,5	7,7	5,5	4,1	2,4	1,8	1,2	0,9	1,2	1,0	1,0	0,6	0,5	0,3
	5,0	13,4	10,0	7,9	5,8	4,1	2,4	1,8	1,4	0,9	1,3	1,1	0,9	0,5	0,4	0,3
	7,5	13,4	10,3	7,5	5,7	4,2	2,4	1,9	1,4	0,9	1,4	1,1	0,9	0,6	0,4	0,3
FT PE — 5 zmraštení	O — K	8,8	5,5	3,3	2,5	2,0	1,4	1,3	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4	0,1
	1,0	6,6	6,7	3,6	2,2	2,0	1,4	0,8	0,8	0,9	0,7	0,6	0,7	0,5	0,4	0,1
	2,0	7,5	6,4	2,8	2,8	2,0	1,2	0,8	0,8	0,3	0,8	0,7	0,8	0,4	0,4	N
	3,0	7,1	7,1	3,3	2,9	2,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,6	0,5	0,7	0,4	0,5	0,1
	4,0	7,1	6,4	3,3	2,2	2,6	1,3	0,8	0,7	1,0	0,7	0,5	0,6	0,6	0,4	0,2
	5,0	7,5	6,2	2,6	2,8	2,3	1,2	0,8	0,5	0,3	0,9	0,6	0,7	0,5	0,5	0,1

[illegible]

Tabuľka 4. Zmeny priepustnosti nízkotlakového polyetylénu (bez zmraštenia a po 30 % zmraštení) pre vodnú paru v závislosti od dávky žiarenia, teploty a relatívnej vlhkosti stanovenia ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)

Obal. mat.	Dávka žiarenia [kGy]	40 °C			30 °C			20 °C			10 °C			5 °C		
		50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90
NT PE+ — bez zmraštenia	0 — K	17,1	13,6	9,5	7,3	5,9	3,4	2,5	2,1	1,9	1,8	1,6	1,3	0,9	0,7	0,6
	1,0	16,3	12,3	9,0	7,0	6,1	4,0	2,7	2,3	1,8	1,7	1,7	1,1	0,9	0,6	0,6
	2,0	16,0	12,5	9,1	7,1	6,3	5,0	2,5	2,0	1,7	1,5	1,7	1,2	0,9	0,6	0,7
	3,0	17,5	13,1	8,7	6,8	6,1	4,5	3,2	1,9	0,9	1,7	1,5	1,3	1,1	0,7	0,7
	4,0	17,7	13,9	9,5	7,4	6,4	4,1	3,2	2,0	1,6	1,8	1,6	1,2	1,0	0,8	0,5
	5,0	17,6	13,9	9,4	6,9	6,1	4,4	2,7	2,0	1,7	1,6	1,7	1,1	0,9	0,6	0,6
	7,5	17,8	13,4	9,5	7,8	6,5	4,0	2,5	2,2	1,7	1,7	1,5	1,1	1,0	0,7	0,6
%	O — K	9,0	6,7	3,0	2,6	2,6	1,4	0,9	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,2

Tabuľka 5. Zmena priepustnosti polypropylénu (nelakovaný, lakovaný) pre vodnú paru v závislosti od dávky žiarenia, teploty a relatívnej vlhkosti stanovenia (g/m².d)

Obal. mat.	Dávka žiarenia [kGy]	40 °C			30 °C			20 °C			10 °C			5 °C		
		50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90
BOPP typ ON	O — K	7,7	5,4	2,8	4,3	2,9	2,1	1,6	1,2	0,7	0,7	0,6	0,7	0,5	0,4	0,4
	1,0	7,4	5,4	3,1	3,6	2,2	1,8	1,1	0,7	0,4	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4
	2,0	7,7	5,3	3,2	3,5	2,0	2,0	1,0	1,1	0,3	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4
	3,0	7,2	5,0	3,2	3,8	1,7	1,9	1,1	1,1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,5	0,3	0,4
	4,0	7,4	5,3	2,9	4,0	1,5	1,8	1,1	1,0	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5
	5,0	7,3	5,2	3,3	3,9	1,4	1,9	1,3	0,9	0,5	0,5	0,6	0,4	0,6	0,3	0,2
	7,5	7,8	5,4	3,1	4,2	2,1	1,4	1,0	1,0	0,5	0,6	0,6	0,3	0,5	0,3	0,4
BOPP typ ON	O — K	3,2	3,2	2,5	1,9	1,0	0,8	0,7	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1
	1,0	3,9	3,7	2,2	1,8	1,1	0,8	0,6	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1
	2,0	3,6	3,5	2,2	1,8	1,1	0,6	0,7	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	N	N
	3,0	3,8	3,5	2,1	1,5	1,1	0,6	0,7	0,5	0,5	0,4	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1

Tabuľka 6. Priemerné hodnoty zmien priepustnosti obalových materiálov pre vodnú paru ($\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{d}$) v závislosti od teploty a relatívnej vlhkosti stanovenia

	40 °C			30 °C			20 °C			10 °C			5 °C		
	50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90	50	70	90
VT PE — bez zmr.	13,3	10,1	7,6	5,5	4,1	2,6	1,7	1,3	1,0	1,2	0,9	0,8	0,6	0,4	0,3
VT PE — 30 % zmr.	7,3	6,4	3,5	2,6	2,2	1,3	0,9	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7	0,5	0,4	0,1
NT PE — bez zmr.	17,1	13,2	9,2	7,2	6,2	4,2	2,8	2,1	1,6	1,7	1,5	1,2	1,0	0,7	0,6
NT PE — 30 % zmr.	8,8	6,5	3,4	2,6	1,7	1,0	0,8	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2

zníženie PPVP obalových materiálov upravených 30 % cieleným zmraštením. Za každých podmienok stanovenia sa táto zníži o 30—50 %. Tento poznatok sa využíva pri balení chleba a ovocia, kde takmer úplne bráni hmotnostným stratám.

O zaradení biaxiálne orientovanej polypropylénovej fólie do súboru vzoriek rozhodla skutočnosť, že v čase začatia prác sa zahájila výroba čs. polypropylénu v n. p. Chemosvit a pre potreby obalovej techniky bolo potrebné aj takto zhodnotiť tento nový obalový materiál.

Na otázku, do akej miery prispieva obal k zachovaniu kvalitatívnych a kvantitatívnych vlastností balenej potraviny, môžu dať odpoveď okrem hodnôt PPVP aj hodnoty priepustnosti obalových materiálov pre plyny, najmä

Tabuľka 7. Zmena priepustnosti obalových materiálov pre kyslík v závislosti od dávky žiarenia a podmienok stanovenia ($\text{cm}^3 \text{ NTP/m}^2 \cdot \text{d}$, 0,1 MPa)

Obalový materiál	Dávka žiar. [kGy]	20 °C Ø hodnota		30 °C Ø hodnota	
Celoľán MSAT 400	O — K	358		323	
	1,0	425	—	479	—
	3,0	491		539	
	5,0	567		595	
Sviten	O — K	214		286	
	1,0	235	—	295	—
	3,0	246		321	
	5,0	279		351	
VT PE	O — K	1815	1809	1898	1912
	1,0	1827		1927	
	3,0	1796	Ø h	1888	Ø h
	5,0	1801		1935	
NT PE	O — K	2326	2383	2526	2580
	1,0	2415		2632	
	3,0	2407	Ø h	2591	Ø h
	5,0	2386		2574	
BOPP — ON	O — K	700	730	758	770
	1,0	756		771	
	3,0	738	Ø h	769	Ø h
	5,0	727		785	
BOPP — OOL	O — K	78	78	85	86
	1,0	86		79	
	3,0	71	Ø h	89	Ø h
	5,0	79		93	

kyslík. V prípade celofánu je známe, že je relatívne nepriepustný pre plyny a túto vlastnosť prináša i do kombinovaných fólií. Bolo preto mimoriadne zaujímavé sledovať, ako sa táto vlastnosť bude meniť účinkom ionizujúceho žiarenia, keď vieme, že na PPVP celofánu vplývalo i za použitia relatívne nízkych dávok dosť značne.

Vzhľadom na použitú metódu merania, ktorá neumožňuje za daných podmienok meniť podľa želania podmienky stanovenia, treba i výsledky chápať absolútne iba za daných podmienok a relatívne (ako porovnanie) za iných podmienok.

Tabuľka 7 uvádza výsledky merania priepustnosti pre kyslík v závislosti od dávky žiarenia. Pri plastických fóliách je udaná aj priemerná hodnota,

Tabuľka 8. Zmena priepustnosti obalových materiálov pre kyslík a uhlíčitý v závislosti od dávky žiarenia a podmienok stanovenia ($\text{cm}^3 \text{ NTP/m}^2 \cdot \text{d} \cdot 0,1 \text{ MPa}$)

Obalový materiál	Dávka žiar. [kGy]	20 °C Ø h		30 °C Ø h	
Celofán MSAT 400	O — K 1,0 3,0 5,0	1 207 1 310 1 411 1 558	—	1 361 1 459 1 582 1 699	—
Sviten	O — K 1,0 3,0 5,0	885 890 950 981	—	916 940 976 1 016	—
VT PE	O — K 1,0 3,0 5,0	18 925 19 311 18 650 18 828	18 928 Ø h	19 350 19 880 18 680 18 991	19 225 Ø h
NT PE	O — K 1,0 3,0 5,0	26 621 26 359 26 411 25 996	26 346 Ø h	27 926 27 811 28 016 28 009	27 940 Ø h
BOPP — ON	O — K 1,0 3,0 5,0	7 200 7 381 7 317 7 265	7 290 Ø h	7 631 7 610 7 580 7 606	7 066 Ø h
BOPP — OOL	O — K 1,0 3,0 5,0	321 311 325 386	335 Ø h	352 361 338 393	361 Ø h

na základe uvedenej úvahy o netečnosti plastov proti ionizujúcemu žiareniu, ktorá je výsledkom 12 meraní. Ako z tabuľky vyplýva, najvyššej zmene priepustnosti pre kyslík podlieha celofán a čiastočne Sviten, ostatné (plastické) nepodliehajú prakticky zmene v uvedenom rozsahu dávok žiarenia. Podobne ako pri meraní PPVP aj tu rozptýl hodnôt zapríčiňuje nerovnomernosť hrúbky obalových materiálov.

Tabuľka 8 uvádza výsledky merania priepustnosti pre kyslíčnik uhlíčitý v závislosti od dávky žiarenia. O výsledkoch možno konštatovať to isté ako pri hodnotení priepustnosti pre kyslík. Hodnoty údajov sa líšia iba v závislosti od použitej teploty pri meraní a sú podstatne vyššie, čo zapríčiňuje už podstatu stavby fólie a jej základných vlastností.

Z oboch meraní priepustnosti pre plyny možno konštatovať, že ionizujúce žiarenia v uvedenom rozsahu dávok ovplyvňujú iba priepustnosť celofánových fólií, a to v značne nižšej miere ako pri PPVP. Plastické fólie sú z tohto hľadiska odolné proti ionizujúcemu žiareniu v použitom rozsahu dávok.

Súhrn

Na základe literárnych údajov je v článku zhrnutý stav poznatkov o vplyve ionizujúceho žiarenia na potravinárske obalové materiály, najmä plastické. Na základe experimentálnych prác je posúdený vplyv ionizujúceho žiarenia (^{60}Co) na priepustnosť celofánu, polyetylénu (nízkotlakový, vysokotlakový) a biaxiálne orientovanej polypropylénovej fólie (lakovaná, nelakovaná) pre vodnú paru a plyny (O_2 , CO_2) v rozsahu dávok 0—7,5 kGy (resp. 10 kGy).

Literatúra

1. DIEHL, J. F.: Kerntechnik, 8, 1966, s. 596.
2. Status of Petitions for Irradiated Food and Packaging Materials. US Department of Commerce Business and Defense Services Administration, April 1968.
3. MEHRINGER, W.: Fette-Seifen-Anstrichmittel, 71, 1969, s. 516.
4. MOLL, W. L. H.: Kolloid-Z., 167, 1959, s. 55.
5. NIEBERGALL, H.: Kunststoffe, 58, 1968, s. 242.
6. KAČEŇÁK, I.: Vplyv priepustnosti obalových materiálov na kvalitu požívatin. Zborník z celoštátnej konferencie Vplyv obalov a balenia na kvalitu potravinárskych výrobkov. SSPLPV pri SAV, Nitra 1977 (Agrokomplex '77).
7. GRÜNEWALD, Th. — BERGER, A.: Fette-Seifen-Anstrichmittel, 63, 1961, s. 982.
8. PROCTOR, B. E. — KAREL, M.: Mod. Packaging, 28, 1955, s. 137.
9. KILLORAN, J. J.: Mod. Packaging, 40, 1967, s. 179.
10. GLASS, R. A. — SMITH, H. D.: Radioactive Isomer Production in Foods by Gamma-rays and X-rays, Contract DA 19-129-AM-1511, Stanford Research Institute, Oct. 1960.
11. TUCHSCHERER, Th. — KUPRIANOFF, J.: Fette-Seifen-Anstrichmittel, 67, 1965, s. 120.
12. HARLEN, F. a spol.: J. Polymer Sci., 18, 1955, s. 589.
13. CHARLESBY, A.: Proc. Roy Soc. (London), A215, 1952, s. 187.
14. FISCHER, H. — HELLWEGE, K. H. — NEUDÖRFL, P.: J. Polymer Sci., A1, 1963, s. 2109.
15. SCHULTZ, A. R. — ROTH, P. J. — RATHMANN, G. B.: J. Polymer Sci., 22, 1956, s. 495.
16. MILLER, A. A.: J. Phys. Chem., 63, 1959, s. 1755.
17. CHAPIRO, A.: J. Chim. physique Physico-chim. Biol., 53, 1956, s. 895.
18. ATCHINSON, G. J.: J. appl. Polymer Sci., 7, 1963, s. 1471.

19. MAJURY, T. G. — PINNER, S. H.: J. appl. Chem., 8, 1958, s. 168.
20. WROBLEWSKA, D. — ŻURAWSKA — ORSZAGH, J.: Opakowanie, 14, 1968, s. 1.
21. HOLEČKOVÁ, L. — KYSELOVÁ, B. — LANZER, O.: Prům. Potr., 22, 1971, s. 73.
22. ČSN 01 9920: Stanovení propustnosti obalových materiálů pro vodní páru. Praha 1963.
23. ASTM E 96-66: Standard methods of test for water vapour transmission of materials in sheet form. Plastics — General methods of testing. Nomenclature part June, 27, 1968, s. 815—824.
24. KAČEŇÁK, I.: Manipulace, skladování, balení, 8, 1979, s. 305.
25. KAČEŇÁK, I.: Kandidátska dizertačná práca. Bratislava ČHTF SVŠT 1975.
26. KAČEŇÁK, I.: Balenie čerstvej hydiny pred ožiarením. ZS ŠÚ P 09-159-209-08 (05.2). Bratislava, VÚP 1980.

Каченьяк, И.

Проблемы упаковки облученных пищевых продуктов

Выводы

На основе литературных данных в статье резюмируются знания о влиянии ионизационного облучения на пищевые упаковочные материалы, особенно пластичные. На основе экспериментальных работ оценено влияние ионизационного облучения (^{60}Co) на проницаемость целлофана, полиэтилена (низконапорный, высоконапорный) и биаксиально ориентированной полипропиленовой пленки (лакированная, нелакированная) для водного пара и газы (O_2 , CO_2) в диапазоне доз от 0 — до 7,5 kGy (resp. 10 kGy).