

METODY STANOVENÍ A PREDIKCE TRVANLIVOSTI POTRAVINÁŘSKÝCH VÝROBKŮ

IVETA ŠÍSTKOVÁ a HELENA ČÍŽKOVÁ

Ústav konzervace potravin, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 160 00 Praha 6 – Dejvice, Česká republika
iveta.sistkova@vscht.cz

Došlo 5.12.23, přijato 1.2.24.

Trvanlivost výrobku lze určit pomocí skladovacích zkoušek, které zhodnotí fyzikální, chemickou, enzymatickou a mikrobiologickou stabilitu potraviny. Návrh testů i interpretace výsledků vyžaduje mikrobiologické a technické poznatky a dovednosti. V čerstvých potravinách se mohou pomnožit patogenní bakterie dříve, než se znatelně zkaží. Takové výrobky budou vedle přímých testů vyžadovat další studie, jako jsou prediktivní mikrobiologické modely nebo expoziční testy. Znehodnocení trvanlivých nebo zmrazených potravin na konci doby trvanlivosti ovlivňuje kvalitu a přijetí spotřebiteli, aniž by to mělo dopad na zdraví a bezpečnost. V takovém případě jsou doporučeny zrychlené skladovací testy a běžně se používá Arrheniův model k určení vztahu mezi rychlostí chemické reakce a změnou teploty.

Klíčová slova: testy trvanlivosti, mikrobiologická bezpečnost, nežádoucí změny potravin, konzervace potravin, skladování

Obsah

1. Úvod do problematiky
2. Metodika stanovení doby trvanlivosti
3. Přímé testy
4. Nepřímé testy
5. Závěr

1. Úvod do problematiky

Stanovení doby trvanlivosti potravin je komplexní postup, který začíná identifikací faktorů, které způsobují změny v potravine během doby jejich skladování v závislosti na podmínkách skladování. U potravin s dlouhou trvanlivostí (tzv. údržných potravin) bývají limitujícím aspektem chemické změny, jako je žluknutí, hnědnutí nebo degradace přírodních barviv, případně nežádoucí fyzikální změny, jako je ztráta křupavosti sušenek nebo plynu ze syceného nápoje. U chlazených potravin s krátkou dobou trvanlivosti (tzv. neúdržných potravin) je obvykle omezujícím faktorem přítomnost patogenních nebo kazících mikroorganismů.

V dnešní době spotřebitelé očekávají, že potraviny jsou nezávadné a že kvalita výrobku bude během období mezi nákupem a spotřebou udržena na vysoké úrovni. Trvanlivost je všeobecně definována jako doba, po kterou je výrobek¹:

- bezpečný,
- má zachovány požadované senzorické, chemické,

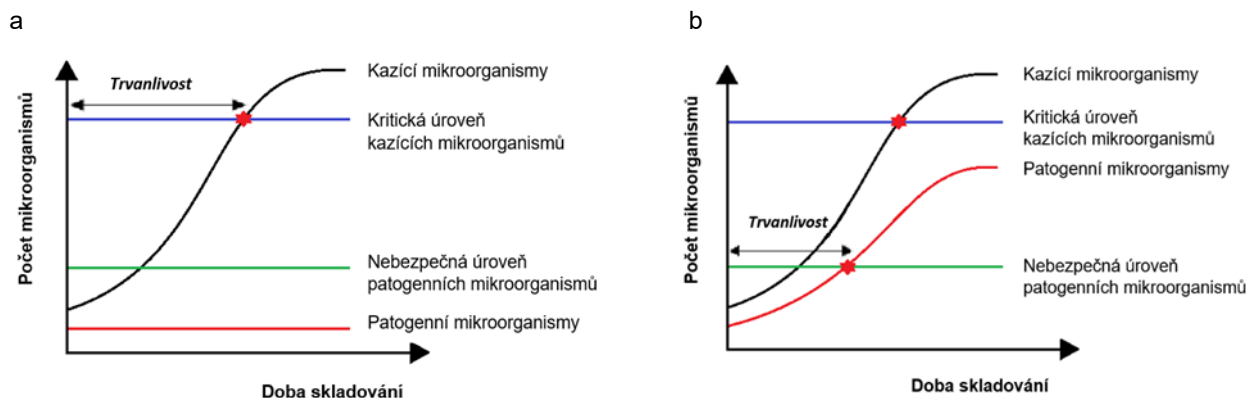
- fyzikální a mikrobiologické vlastnosti,
- jsou dodrženy deklarace (např. nutričních údajů) na etiketě,
- je přijatelný pro spotřebitele.

Správně nastavená trvanlivost chrání výrobce před reklamacemi, zdraví spotřebitele, ale zároveň zabraňuje plýtvání a předčasnému vyhazování potravin ještě vhodných ke konzumaci. Studie Evropské komise z roku 2018 dospěla k závěru, že až 10 % veškerého potravinového odpadu vyprodukovaného v EU souvisí s trvanlivostí a jejím nejednoznačným označením a nepochopením². Používaná terminologie je shrnuta v tab. I. Základní potravinářské právní předpisy, které přímo i nepřímo regulují oblast trvanlivosti a značení trvanlivosti potravinářských výrobků, jsou:

- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 178/2002, kterým se stanoví obecné zásady a požadavky potravinového práva, zřizuje se Evropský úřad pro bezpečnost potravin a stanoví postupy týkající se bezpečnosti potravin³,
- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1169/2011 o poskytování informací o potravinách spotřebitelům⁴,
- Nařízení komise (ES) č. 2073/2005 o mikrobiologických kritériích pro potraviny⁵,
- Zákon č. 110/1997 Sb. o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů⁶.

Tabulka I
Používaná terminologie

Parametr	Anglická terminologie	Vysvětlení
Kvalita potravin	Food quality	Soubor vlastností potravin, které ovlivňují míru její přijatelnosti pro spotřebitele
Údržnost/ trvanlivost/ skladovatelnost	Shelf-life	Doba od výroby, kdy si potravina zachovává požadovanou úroveň sensorických vlastností a mikrobiální bezpečnosti za stanovených podmínek skladování
Hodnota vysoké kvality	HQL – High quality life	Doba od zmrazení potravin k vytvoření právě znatelného sensorického rozdílu (pro zmrazené potraviny)
Hodnota praktické trvanlivosti	PSL – Practical storage life	Stav, kdy výrobek je zdravotně nezávadný, sensoricky a analyticky již mírně odlišný od čerstvého, ale stále přijatelný pro spotřebitele
Datum minimální trvanlivosti (DMT), označeno „minimální trvanlivost do“	„Best before“	Datum, do kterého si potravina uchovává své specifické vlastnosti při správném způsobu uchovávání (např. trvanlivé, zmrazené nebo syrové potraviny určené k tepelné úpravě) – viz obr. 1a
Datum použitelnosti (DP), označeno „spotřebujte do“	„Use by Date“	Aplikováno u potravin, které z mikrobiologického hlediska snadno podléhají zkáze, a mohou tedy po krátké době představovat bezprostřední nebezpečí pro lidské zdraví (např. chlazené hotové pokrmy, masné výrobky a saláty) – viz obr. 1b



Obr. 1. Správné nastavení trvanlivosti výrobku s ohledem na kinetiku růstu patogenních a kazících mikroorganismů. a) Výrobek vykazuje kažení dříve než dojde k nárůstu patogenních mikroorganismů (doporučeno označit DMT), b) Limit nárůstu patogenních mikroorganismů je překročen dříve než dojde ke kažení (doporučeno označit DP)⁷. Barevná verze obrázku je dostupná na webových stránkách časopisu Chemické listy.

Nejčastější problémy a rozpory se závaznými pravidly, se kterými je možno se v souvislosti se značením DP a DMT setkat, jsou^{4,7}:

- Chybně stanovené datum, např. výrobek pravidelně vykazuje známky kažení již před koncem doby trvanlivosti (jak to má být správně, je uvedeno na obr. 1a) nebo trvanlivost je odvozena od počtu kazících mikroorganismů a nezohledňuje nárůst patogenních bakterií (jak to má být správně, je uvedeno na obr. 1b).
- Nejsou uvedeny nebo neodpovídají doporučené podmínky skladování, je-li relevantní, tak i podmínky a doba po otevření obalu. Případně pokud potravina

vyžaduje zvláštní podmínky uchovávání (např. specifická teplota, relativní vlhkost vzduchu, absence světla apod.) nebo použití (nutnost následného tepelného opracování) a tyto informace chybí.

- Značení je nečitelné, nejasné, uvedené příliš malým písmem nebo přešlepené cenovkou.
- Spotřebitel nezná rozdíl a definici.

Jako součást strategie „Farm to fork“ (Od zemědělece ke spotřebiteli) v rámci Zelené dohody pro Evropu plánuje Evropská komise revidovat nařízení (EU) č. 1169/2011 o poskytování informací o potravinách spotřebitelům. Jedna z navrhovaných změn spočívá v aktualizaci pravidel pro označování trvanlivosti, protože spotřebitelé označení

data často chybně chápou a chybně používají v praxi, což zásadně ovlivňuje jejich rozhodnutí konzumovat nebo zlikvidovat konkrétní potravinářské výrobky⁸. Podle Eurobarometru (2015)⁹ jen přibližně 45 % evropských spotřebitelů (a 50 % českých spotřebitelů) rozumí významu označení data „spotřebujte do“ a „minimální trvanlivost do“. Aktuálně jsou na národní i evropské úrovni diskutovány tyto body:

- Zachování stávajících (a přes výše uvedené do velké míry zažitých) způsobů označování nebo jejich dílčí revize (např. neuvádět vůbec datum minimální trvanlivosti (DMT), aby se zabránilo plýtvání potravinami).
- Návrhy, výhody a nevýhody nových způsobů vyjádření trvanlivosti na produktech (z hlediska terminologie, formátu a vizualizace).
- Potřeba edukace spotřebitelů bez ohledu na ve finále zvolený způsob označování¹⁰.

Původně se očekávalo, že Evropská komise svůj návrh aktualizací pravidel pro označování trvanlivosti oznámí v roce 2023, ale s ohledem na protichůdné návrhy a jiné priority není tato problematika zařazena ani do pracovního programu Evropské komise na rok 2024 (cit.⁸).

Aby mohl výrobce stanovit trvanlivost, musí rozumět potravinářským vědám a technologii včetně zpracování potravin, analýzy potravin, balení potravin a statistickému vyhodnocení dat. Konec trvanlivosti konkrétního výrobku lze určit na základě¹:

- příslušné potravinářské legislativy,
- pokynů vydaných kontrolními orgány a státními institucemi,
- doporučení poskytovanými nezávislými profesními spolky a subjekty,
- současně osvědčené průmyslové praxe a informací z trhu,
- vlastního posouzení trvanlivosti pomocí přímých a nepřímých metod.

Pro výrobky, u kterých není možno aplikovat postupy 1 až 4 (nebo je třeba nastavení ověřit), je k odhadu fyzikální, chemické, enzymatické a mikrobiologické stability nutno využít metod interního nebo externího posouzení trvanlivosti, založených na laboratorních skladovacích zkouškách nebo na prediktivních modelech. Těmito postupy se zabývají následující kapitoly.

2. Metodika stanovení doby trvanlivosti

Metodika stanovení doby trvanlivosti zahrnuje řadu kroků. Kromě vlastního nastavení nebo ověření doby trvanlivosti zahrnuje posouzení vstupních surovin a receptury, klíčových nežádoucích změn, výrobního procesu, aplikovaných konzervačních zákroků, očekávaných skladovacích podmínek a způsobu použití potraviny (tab. II).

Trvanlivost a kvalitu potravinářského výrobku ovlivňuje řada faktorů, které lze rozdělit na faktory složení (vnitřní) a faktory prostředí (vnější). Tyto faktory ovlivňu-

jí výše uvedené nežádoucí (ale i žádoucí) mikrobiologické, enzymové, fyzikální a chemické změny potravin.

K vnitřním faktorům patří chemické složení potravin, aktivita vody (a_w), hodnota pH, druh přítomných kyselin, redoxní potenciál (Eh), dostupný kyslík, přirozená mikroflóra a přežívající počty mikroorganismů, aktivita přítomných enzymů, použití látek s konzervačním účinkem v receptuře výrobku, a koncentrace všech potenciálních reaktantů, inhibitorů a katalyzátorů.

Vnější faktory, tj. ty, se kterými se výrobek setkává během výroby, distribuce, prodeje a skladování v domácnostech, jsou časově-teplotní profil během zpracování, kontrola teploty během skladování a distribuce, relativní vlhkost vzduchu (RVV) během zpracování, skladování a distribuce, vystavení světlu (UV a IR) během zpracování, skladování a prodeje, mikrobiální kontaminace prostředí během zpracování, skladování a distribuce, složení atmosféry uvnitř obalu, následné tepelné opracování (např. ohřívání nebo vaření před konzumací)^{1,5,11}.

Výběr indikátorů nežádoucích změn (kritických parametrů) a jejich limitních hodnot (tzv. cut-off limity) vychází z právních předpisů^{4,5}, firemních standardů, požadavků a očekávání spotřebitelů. Nejběžněji využívanými indikátory jsou:

- mezní hodnoty počtu patogenních mikroorganismů,
- toxické produkty mikroorganismů a jejich koncentrace,
- nežádoucí změny způsobené mikrobiální činností např. zápach, změněna barvy, oslizlost, zákal, tvorba plynu, viditelné kolonie, mycelium, maz,
- indikátory enzymatických, fyzikálních, chemických změn,
- další indikátory podle požadavků právních předpisů nebo deklarace na etiketě.

Metody dělíme na přímé (statické) testy, při kterých je výrobek skladován za plánovaných podmínek skladování (teplota, RVV, doba) a na nepřímé testy, kam je možno zařadit prediktivní mikrobiologické modely a zrychlené skladovací testy, při kterých je výrobek skladován za podmínek prostředí urychlujících nežádoucí změny (zvýšená teplota, zvýšená RVV nebo intenzivní UV záření). Alternativou přímých testů jsou pak expoziční (challenge) testy využívané pro hodnocení dynamiky růstu patogenních mikroorganismů a šokové testy, během kterých výrobek prochází proměnným prostředím (opakované výkyvy teplot, kolísání RVV apod.). Nezbytné je také následné ověření správného nastavení trvanlivosti výrobku, k čemuž obvykle slouží departážní vzorky a jejich kontrola na konci trvanlivosti, vyhodnocení reklamací a případné opakování testů.

Návrh skladovacích testů má tuto obecnou strukturu:

1. Vybrat vnější faktor (faktory), který má dostatečný vliv na změny kvality a bezpečnost výrobku (viz tab. II).
2. Vybrat kritický parametr (parametry), který je možno objektivně laboratorně stanovit a přímo souvisí s kvalitou, bezpečností a spotřebitelskou přijatelností (viz tab. II).

Tabulka II

Nezbytné podklady pro vlastní testování trvanlivosti (příklady pro různé druhy potravinářských výrobků)^{5,11}

Výrobek	Typ nežádoucí změny	Kritické podmínky skladování (tj. vnější faktory ovlivňující nežádoucí změny)	Indikátory klíčových změn ^a	Detekce patogenních mikroorganismů, jejich toxinů a metabolitů
Pasterované mléko	oxidace, hydrolytické žluknutí, růst bakterií	teplota, O ₂	peroxidové číslo, číslo kyselosti, pseudomonády, sporotvorné bakterie	<i>L. monocytogenes</i> , <i>Enterobacteriaceae</i>
Sušené mléko	oxidace, hnědnutí, hrudkování	O ₂ , teplota, RVV	peroxidové číslo, hexanal, obsah vody, barva	<i>Salmonella</i> , <i>Enterobacteriaceae</i> , koagulázopozitivní stafylokoky
Zmrzlina	tvorba krystalů ledu nebo laktosy, oxidace	teplota, teplota – kolísání, O ₂	textura, meltdown (odtávací) test, peroxidové číslo	<i>Salmonella</i> , <i>Enterobacteriaceae</i>
Čerstvé hovězí maso	mikrobiální (bakteriální) růst, oxidace, ztráta vody	teplota, O ₂ , světlo, RVV	celkový počet mikroorganismů, pseudomonády, enterobakterie, bakterie mléčného kvašení, peroxidové číslo, obsah vody	<i>Salmonella</i>
Čerstvé ryby	mikrobiální (bakteriální) růst, oxidace	teplota, O ₂	celkový počet mikroorganismů, pseudomonády, enterobakterie, bakterie mléčného kvašení, těkavé látky, biogenní aminy, peroxidové číslo	histamin
Listová zelenina	enzymatické měknutí, růst mikroorganismů, ztráta vody/vadnutí	teplota, světlo, O ₂ , RVV	textura, obsah vody, celkové počty mikroorganismů	<i>Salmonella</i> , <i>E. coli</i>
Chléb	migrace vody/tvrdnutí, retrogradace škrobu, růst plísní	RVV, teplota, O ₂	textura, počty plísní, celkové počty mikroorganismů, pH, obsah vody	–
Pivo	oxidace, růst mikroorganismů	O ₂ , teplota	těkavé látky, hořké kyseliny, zákal, bakterie mléčného kvašení, divoké kvasinky	–

^a Není uvedeno senzoričké hodnocení, které je relevantní pro všechny typy výrobků

3. Vybrat metodu testování (přímý test, expoziční test, zrychlený skladovací test...), podmínky testování a postup interpretace výsledků.
4. Zajistit dostatek vzorků; velikost a balení vzorků by mělo odpovídat reálným podmínkám uvedení výrobku na trh.
5. Spočítat náklady na testování (mohou se pohybovat od stovek Kč po desítky tisíc Kč na 1 výrobek).

3. Přímé testy

Přímé (statické) testy jsou realizovány za obvyklých podmínek skladování, resp. distribuce. Případně se pro testování aplikuje více extrémních než doporučených podmínek (vyšší nebo kolísavá teplota, vyšší RVV, přímý sluneční svit apod.), čehož se používá k určení vlivu nestá-

bilních podmínek distribuce (tzv. mild temperature abuse – např. místo teploty do 4 °C je testováno 6–8 °C) nebo ochranné funkce obalu. Variantou je testování trvanlivosti po otevření obalu (tzv. secondary shelf-life). U trvanlivých výrobků vyžadují přímé testy dlouhou dobu (měsíce, roky) k pozorování změn a kvantifikaci kritických parametrů, což může být pro praxi nepřijatelné, avšak oproti nepřímým testům jsou přímé testy více spolehlivé.

Obecně lze potravinářské výrobky klasifikovat do tří skupin¹:

1. *Potraviny podléhající rychlé zkáze* (neúdržné potraviny jako mléko, čerstvé maso, chlazená hotová jídla, minimálně opracované ovoce a zelenina): Tyto potraviny mají velmi krátkou trvanlivost, podléhají mikrobiologickému a/nebo enzymatickému znehodnocení. Měření za účelem stanovení trvanlivosti se provádějí každý den, celková délka testu bývá např. 1 týden.

- Výrobky jsou následně označovány datem použitelnosti (DP).
- Polotrvanlivé potraviny* (pasterované mléko, masné výrobky, sýry a některé pekařské výrobky): Jedná se o výrobky s krátkou až střední dobou trvanlivosti, mohou obsahovat složky s konzervačním účinkem nebo jejich výroba zahrnuje metody konzervace. Testování trvá 2–4 týdny a odběry jsou např. ve dnech 0, 7, 14, 21, 28 a 35. Výrobky jsou následně označovány buď datem použitelnosti (DP) nebo pokud je potvrzeno, že na konci trvanlivost nepředstavují bezprostřední nebezpečí pro lidské zdraví datem minimální trvanlivosti (DMT).
 - Vysoce stabilní potraviny* (sušené výrobky, konzervy a zmrazené potraviny): Jedná se o výrobky se střední až dlouhou trvanlivostí, které prošly tepelným procesem nebo jsou udržovány ve specifických podmínkách. Měření se provádějí např. v měsících 0, 1, 2, 3, 6, 12 a 18. Pro tyto účely je však doporučeno realizovat zrychlené testy. Výrobky se následně značí datem minimální trvanlivosti (DMT).

Výše uvedené odběry se ukončují předčasně, pokud je překročen kritický limit např. pro patogenní mikroorganismy a jejich metabolity a trvanlivost bude o to kratší. Zároveň (s výjimkou sledování počtu mikroorganismů) platí, že pokles/nárůst sledovaného indikátoru změny kvality výrobku by měl být 30–50 % původní hodnoty, aby představoval statisticky průkazný trend zhoršování.

Nejvýznamnějším vnějším faktorem ovlivňujícím trvanlivost je teplota. Přímé testy budou primárně prováděny za doporučených podmínek skladování (viz tab. III), zkoušky skladování v chladničce by však měly být prováděny i za podmínek mírného zvýšení teploty, které odpovídají situaci během distribuce a nakládání u spotřebitele. Kritické fyzikální a chemické vlastnosti výrobku (jako např. pH, aktivita vody, obsah solí, přítomnost kyslíku) během zamýšlené doby použitelnosti jsou sledovány zejména z pohledu podpory růstu klíčových patogenů odolných vůči chladu (*Bacillus cereus*, *Clostridium botulinum*, *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, *Staphylococcus aureus*, *Campylobacter jejuni*)^{12,13}.

Expoziční (challenge) testy jsou alternativou přímých testů a jsou využívány pro studium dynamiky růstu patogenních mikroorganismů. Do testovaného modelového výrobku se před balením přidávají specifické patogeny, protože běžné skladovací testy na výrobcích, kde se pato-

genní bakterie vyskytují jen příležitostně, by byly zavádějící (resp. neukáží, jestli v případě kontaminace bude prostředí potravinářského výrobku podporovat růst konkrétního mikroorganismu). Expozičních testů se využívá především u výrobků, kde je požadavek na nepřítomnost nebo velmi nízký limit mikroorganismů a zároveň zhodnocení fyzikálně-chemických vlastností dává hraniční výsledky. Kultury patogenních bakterií nesmí být nikdy pro provedení testů používány přímo v podnicích na zpracování potravin¹⁴.

4. Nepřímé testy

Nepřímé testy zahrnují postupy vhodné pro všechny typy výrobků, patří mezi ně prediktivní mikrobiologické modely, případně nastavení trvanlivosti na základě dat publikovaných v odborné literatuře nebo na základě obdobných výrobků v tržní síti. Pro trvanlivé výrobky, u nichž by provedení přímých skladovacích testů znamenalo více měsíční, až více roční testování se obvykle využívá zrychlených skladovacích testů (accelerated shelf-life testing, ASLT). Je však třeba počítat se skutečností, že nepřímé testy jsou všeobecně méně přesné než přímé a v případě zrychlených skladovacích testů zároveň finančně více náročné.

Prediktivní mikrobiologické modely

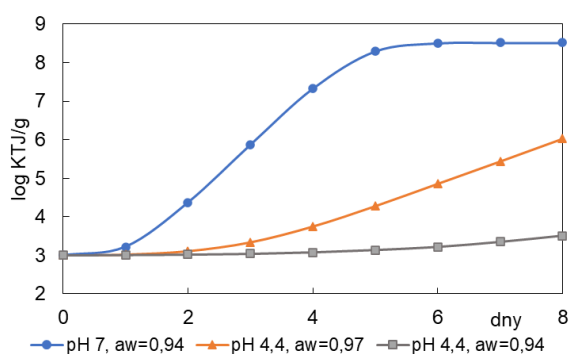
Prediktivní mikrobiologické modely umožňují pomocí matematických rovnic predikovat pravděpodobný růst mikroorganismů a/nebo tvorbu toxinů za různých podmínek, a tím určit dobu trvanlivosti a vyhodnotit význam jednotlivých vnitřních a vnějších faktorů pro konkrétní výrobky. Modely byly vytvořeny pomocí laboratorních měření růstových křivek v závislosti na nastavení experimentálních podmínek a lze je použít i k predikci pravděpodobné odezvy za jiných než původně testovaných podmínek¹⁵. Tuto expertizu lze provést na základě stanovených podmínek rychle a bez použití laboratoře, což může být pro výrobce velkým přínosem a zjednodušením.

Původní kinetické modely zahrnovaly pouze nejdůležitější patogeny, jako jsou *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, *Clostridium botulinum*, *Bacillus cereus* a *Escherichia coli*, ale v současnosti je možné posoudit kinetiku růstu i kazících mikroorganismů (např. bakterie mléčného a octového kvašení, kvasinky, plísně)

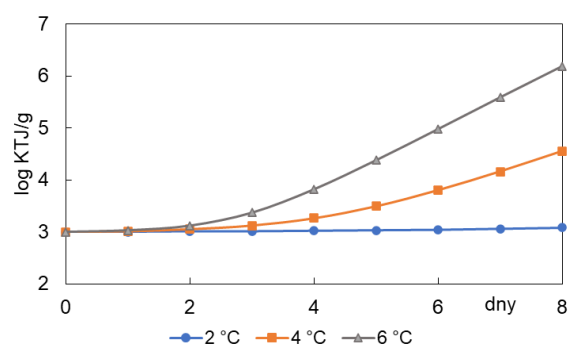
Tabulka III

Používané podmínky přímých skladovacích testů¹

Podmínky skladování	Teplota	RVV
Mrazírenské	–18 °C nebo nižší	obvykle se blíží 100 %
Chladírenské	0–5 °C, maximálně 8 °C	obvykle se blíží 100 %
Pokojevé (shelf-stable)	20 °C nebo 25 °C	75 %
Tropické	38 °C	90 %
Kontrola	optimální (doporučené) podmínky pro každý výrobek	



Obr. 2. Vliv pH a aktivity vody na růst *Listeria monocytogenes* v 3 hypotetických výrobcích při teplotě 20 °C a rozdílném pH a vodní aktivitou (a_w) (data získána z modelu ComBase). Barevná verze obrázku je dostupná na webových stránkách časopisu Chemické listy.



Obr. 3. Vliv teploty na růst *Listeria monocytogenes* ve výrobcích s pH 7 a obsahem soli 1,5 % a teplotách 2, 4 a 6 °C (data získána z modelu ComBase). Barevná verze obrázku je dostupná na webových stránkách časopisu Chemické listy.

a mikrobiálních potravinářských kultur. Z faktorů jsou do modelů nejčastěji zahrnuty aktivita vody, pH a teplota. Význam správného nastavení všech faktorů v rámci prediktivních testů ilustrují obr. 2 a obr. 3, které ukazují vliv vybraných faktorů na kinetiku růstu *Listeria monocytogenes*.

Používané modely se rozlišují podle komplexnosti na¹⁵:

- Primární: vytvořené na základě konstrukce růstové křivky konkrétního mikroorganismu za nastavených podmínek, tj. stanovení kvantitativního vztahu mezi růstem (a tvorbou toxinů) a časem.
- Sekundární: vycházející z primárních modelů, ale zahrnují i další charakteristiky mikroorganismů, umožňují zařazení většího počtu a kombinace faktorů (teploty, času, aktivity vody, přítomnosti konzervačních látek apod.), jsou komplexnější.
- Terciální: kombinují primární a sekundární model do uživatelsky přátelského software nebo aplikace.

Současně je možno používané modely rozdělit podle účelu na:

- Modely kinetiky růstu: umožňují např. výpočet délky lag fáze, generační doby, dobu do produkce toxinů, reakční rychlosti apod.¹⁵. Příklad ověřování nového modelu pro růst *L. monocytogenes* a *E. coli* O157:H7 (cit.¹⁶) je uveden v tab. IV.
- Pravděpodobnostní modely roste/neroste: určí, jestli prostředí/potravina bude nebo nebude podporovat růst bakterie (např. *L. monocytogenes*, *C. botulinum*, *B. cereus*), případně predikují přežití patogenu za hraničních podmínek pH, a_w , kolísání nízkých teplot apod. Využívá se ve speciálních případech, kdy riziko představují i jednotky KJTJ g^{-1} (cit.¹⁵).
- Inaktivační (smrtící modely): využívají se pro výpočet účinku pasterace/sterilace, ozařování, vysokého hydrostatického tlaku (HPP), pulzního elektrického pole (PEF) apod.¹⁷.

K dispozici je řada programů pro modelování růstu mikroorganismů, ale je třeba počítat s tím, že zadání vstupních dat a interpretace výsledků vyžaduje zkušenosti

a znalosti potravinářské mikrobiologie. Příklady volně dostupných programů a aplikací:

- Predictive Microbiology Information Portal (PMIP): <http://portal.errc.ars.usda.gov/>
- Pathogen Modeling Program (PMP) je soubor modelů, které lze použít k predikci růstu a inaktivaci alimentárních bakterií za různých podmínek: <https://pmp.errc.ars.usda.gov/>
- ComBase s modely růstu nebo inaktivace pro 12 alimentárních patogenních bakterií: <http://www.combase.cc/>
- Food Spoilage and Safety Predictor (FSSP) předpovídá trvanlivost a růst bakterií v různých čerstvých a konzervovaných potravinách: <http://fssp.food.dtu.dk/>
- Shelf Stability Predictor predikuje růst *L. monocytogenes* a *S. aureus* v masných výrobcích určených k přímé spotřebě: http://meathaccp.wisc.edu/ST_calc.html
- GroPIN Modelling DataBase je databáze prediktivního modelování pro kinetické (růstové nebo inaktivační) a pravděpodobnostní modely: <https://www.aua.gr/psomas/gropin/>

*Zrychlené skladovací testy (accelerated shelf-life testing, ASLT)*¹¹

Při zrychlených skladovacích testech je výrobek skladován za různých podmínek prostředí urychlujících nežádoucí změny. Nejčastěji se jako akcelerační faktor používá zvýšená teplota, u sušených výrobků a výrobků náchylných na příjem vody z prostředí zvýšená RVV. U výrobků, kde jsou nežádoucí změny katalyzovány světlem (např. autooxidace nebo degradace barviv a vonných látek), se využívá jako akcelerační faktor intenzivní UV záření.

Podmínky zrychleného skladovacího testu jsou vybrány tak, aby pokryly očekávané změny a bylo jich dosaženo v relativně krátkém časovém období (obvykle během několika týdnů). Test poskytuje kinetická data (např. rych-

Tabulka IV
Aplikace nepřímých testů trvanlivosti

Výrobek	Metoda	Indikátory klíčových změn	Kinetické parametry	Závěr výzkumu
Bujon a čerstvé maso ¹⁶	testování různých kinetických modelů růstu	<i>Listeria monocytogenes</i> a <i>Escherichia coli</i> O157:H7	mikrobiální růst za různých teplot (určení délky lag fáze a rychlosti růstu v exponenciální fázi)	Doporučený model je intuitivní a jasně definuje lag, log i stacionární fázi růstu bakterií v závislosti na teplotě
Kečup ¹⁸	Arrheniův model (ASLT, 25, 50, 75 a 90 °C)	barva (ΔE , a^*), kyselina askorbová, lykopen	k , E_a , teplotní citlivost (z), Q_{10}	Nejspolehlivější parametr ΔE (rekce nultého řádu). Zjištěny rozdíly v trvanlivosti závislosti na typu Výroby
Žampiony ¹⁹	Arrheniův model (4, 8, 10 a 20 °C) a přímý test	textura, migrace vody, e-nos	E_a , Q_{10}	Gumovitost byla nejpřesnějším indexem pro hodnocení kvality, zatímco žvýkatelnost byla nejpřesnějším indexem pro predikci
Slunečnicový olej s extraktem ze šalvěje lékařské ²⁰	Arrheniův model a multiregresní analýza (teploty 100–130 °C)	oxidační stabilita (indukční perioda), antioxidační aktivita, fotochemiluminiscenční test	A , E_a , ΔH (aktivační entalpie), ΔS (aktivační entropie)	Extrakt zlepšil oxidační stabilitu slunečnicového oleje. Použití ASLT v olejích může vést k nadhodnocení skutečné trvanlivosti
Čerstvé krevety ²¹	Arrheniův model a neuronová síť s radiální bází (RBFNN) v teplotním rozsahu 0–8 °C	senzorické hodnocení, celkový počet mikroorganismů, celkový těkavý dusík, K-hodnota	A , E_a , střední kvadratická chyba (MSE) a korelační koeficient (R^2)	Model RBFNN vykazoval lepší potenciál pro předpovídání změn v kvalitě krevet než Arrheniův model

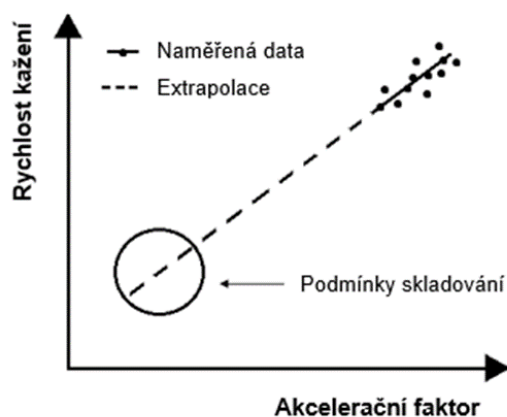
lostní konstanty, aktivační energie, Q_{10} hodnotu) a jeho princip je znázorněn na obr. 4. Po provedení skladovacího testu následuje vyhodnocení parametrů kinetického modelu a extrapolace dat na normální skladovací podmínky. Nastavené zkušební podmínky by neměly měnit předpokládaný reakční mechanismus ovlivňující skladovatelnost (např. teplota nad 50 °C indukující Maillardovu reakci a růst termofilních kompetitivních mikroorganismů), proto se obvykle využívá teplot 25, 35 a 45 °C. Výsledky jsou méně spolehlivé než u statických testů a je třeba je interpretovat opatrně.

Indikátory kvality se obdobně jako u přímých testů volí v závislosti na typu výrobku a sledované nežádoucí změně. Může se jednat o fyzikální vlastnosti, jako je barva kečupu¹⁸ nebo migrace vody u skladovaných žampionů¹⁹, chemické parametry, jako je oxidační stabilita slunečnicového oleje²⁰. U výrobků, které z mikrobiologického hlediska snadno podléhají zkáze, jsou voleny mikrobiologické indikátory, jako jsou kazící bakterie v čerstvých krevetách²¹. Součástí testu bývá obvykle i sensorické hodnocení chuti, vůně, vzhledu a určení odchylek od původního stavu.

Základní technikou pro testování trvanlivosti je přístup pomocí reakční kinetiky. K predikci doby trvanlivosti se k vyhodnocení používají kinetická data kvantifikující,

jak se proces nežádoucí změny chová jako funkce času a jak je ovlivněn akceleračními faktory (nejčastěji zvýšenou teplotou).

Nejprve se vyhodnotí, jaký je vliv hodnoty sledovaného indikátoru kvality (tj. např. koncentrace vitamínu C, počet bakterií mléčného kvašení nebo barva) na rychlost



Obr. 4. Princip zrychleného skladovacího testu

Tabulka V

Příklady hodnot aktivační energie a Q_{10} pro různé reakce a teplotní podmínky¹¹

E_a [kJ mol ⁻¹]	Q_{10} při 5 °C	Q_{10} při 20 °C	Q_{10} při 40 °C	Typické reakce v potravině
42	1,9	1,8	1,6	difuze, enzymatické, hydrolytické
85	3,5	3,1	2,7	oxidace lipidů, ztráta nutričních látek
125	6,6	5,5	4,5	neenzymové hnědnutí

reakce. Ztráta kvality se řídí následující rychlostní rovnicí: $dQ/dt = k_T \cdot (Q_A)^n$, kde dQ/dt je změna měřitelného indikátoru kvality Q_A s časem t , k je rychlostní konstanta při testované teplotě T a n je řád reakce.

Řád reakce pro většinu atributů kvality v potravinářských výrobcích je buď nultý nebo první. U reakcí nultého řádu je reakční rychlost ztráty indikátoru kvality lineární a nezávisí na jeho koncentraci, touto kinetikou probíhají obvykle celkové změny kvality při mrazírenském skladování nebo Maillardova reakce. U reakce prvního řádu je reakční rychlost přímo úměrná množství indikátoru kvality, který v daném okamžiku zůstává ve vzorku; příklady reakcí prvního řádu jsou žluknutí, mikrobiální růst a inaktivace mikroorganismů, produkce mikrobiálních metabolitů, ztráta vitamínů v sušených potravinách a ztráta kvality bílkovin a oxidace barviv. Na základě skladovacích testů provedených při různých teplotách zjišťujeme hodnotu rychlostní konstanty k při konkrétní teplotě a reakční řád.

Souvislost mezi změnami teploty a rychlostí reakce popisuje řada modelů. Pro predikci trvanlivosti se nejčastěji využívá Arrheniova rovnice: $k = A \cdot \exp(-E_a/RT)$, kde k je rychlostní konstanta, A je konstanta (srážkový faktor), E_a aktivační energie, R plynová konstanta a T absolutní teplota. Každá z degradačních reakcí vyžaduje ke spuštění určité množství energie = aktivační energie, jejíž hodnota se v rámci skladovacího experimentu kvantifikuje. Čím vyšší je aktivační energie pro reakci, tím větší je zrychlení se zvýšením teploty.

Pro zjednodušení procesu výpočtu vlivu teploty na rychlost nežádoucích změn, a tedy trvanlivost výrobku byl pro praxi zaveden koncept Q_{10} , který kvantifikuje, jak se změní rychlost reakce, když se teplota zvýší o 10 °C. Hodnotu Q_{10} lze vypočítat pomocí následující rovnice: $Q_{10} = R_{(T+10\text{ °C})} / R_{(T)}$, kde R může být změna koncentrace, reakční rychlost, rychlostní konstanta apod. (případně pomocí alternativní varianty $Q_{10} = \text{Trvanlivost}_{(T)} / \text{Trvanlivost}_{(T+10\text{ °C})}$). Například, pokud má potravina stabilitu 20 týdnů při 20 °C a 10 týdnů při 30 °C, potom hodnota Q_{10} bude 20/10, což se rovná 2. Hodnoty Q_{10} se obvykle pohybují v rozmezí 2–4 a jsou specifické pro různé reakce a teplotní rozmezí (tab. V). Pro výpočet a odpovídající přepočty je možno využít volně dostupné webové aplikace, jako je např. Temperature Coefficient (Q_{10}) Calculator: https://www.physiologyweb.com/calculators/q10_calculator.html.

Příklady, uspořádání a charakteristické parametry predikčních testů trvanlivosti jsou uvedeny v tab. IV. Vedle výše uvedených tradičních kinetických mode-

lů nacházejí dnes uplatnění umělé neuronové sítě (Artificial neural network), které díky nepřetržitému učení, schopnosti generalizace a adaptaci na základě korelací mezi více proměnnými vedou obvykle k přesnějším předpovědím trvanlivosti, zvláště v případě nestabilních vnějších podmínek²².

5. Závěr

S ohledem na v dnešní době všude skloňovanou udržitelnost je určení správné doby trvanlivosti potravinářských výrobků důležité k zamezení plýtvání potravinami za současného zachování kvality a minimalizace rizika ohrožení zdraví spotřebitelů. Pro nastavení trvanlivosti a jejího značení na etiketě výrobku je zapotřebí zvolit vhodnou metodiku a odpovídající interpretaci výsledků testů s ohledem na technologii výroby, složení výrobku, jeho balení a očekávané změny v průběhu skladování.

LITERATURA

- Phimolsiripol Y., Suppakul P.: Techniques in shelf life evaluation of food products. Reference Module in Food Science, str.1, Elsevier 2016.
- European Commission: *Market study on date marking and other information provided on food labels and food waste prevention*. <https://data.europa.eu/doi/10.2875/808514>, staženo 29. 1. 2024.
- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 178/2002, kterým se stanoví obecné zásady a požadavky potravinového práva, zřizuje se Evropský úřad pro bezpečnost potravin a stanoví postupy týkající se bezpečnosti potravin. Úřední věstník L 031, 2002, str. 1.
- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 1169/2011 o poskytování informací o potravinách spotřebitelům, o změně nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1924/2006 a (ES) č. 1925/2006 a o zrušení směrnice Komise 87/250/EHS, směrnice Rady 90/496/EHS, směrnice Komise 1999/10/ES, směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/13/ES, směrnice Komise 2002/67/ES a 2008/5/ES a nařízení Komise (ES) č. 608/2004. Úřední věstník L 304, 2011, str. 18.
- Nařízení komise (ES) č. 2073/2005 o mikrobiologických kritériích pro potraviny. Úřední věstník L 338, 2005, str. 1.

6. Zákon č. 110/1997 Sb. o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů. Sbírka zákonů 1997, částka 69, str. 2898.
7. Ministry for Primary Industries (New Zealand): *Guidance Document: How to Determine the Shelf Life of Food* (2016).
8. Katsarova I.: *Proposal for a regulation revising the rules on date marking ('use by' and 'best before' dates) on food products*. In: European Parliament – Legislative Train Schedule. [https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/file-revision-of-eu-rules-on-date-marking-\(use-by-and-best-before-dates\)](https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/file-revision-of-eu-rules-on-date-marking-(use-by-and-best-before-dates)), staženo 29. 1. 2024.
9. Eurobarometer: *Food waste and date marking*. <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2095>, staženo 29. 1. 2024.
10. European Commission: *Food labelling - revision of rules on information provided to consumers*. https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12749-Food-labelling-revision-of-rules-on-information-provided-to-consumers_en, staženo 29. 1. 2024.
11. Steele R. (ed.): *Understanding and measuring the shelf-life of food*. CRC Press, Boca Raton 2004.
12. EFSA Journal: *Guidance on date marking and related food information: Part 1 (date marking)* (2020).
13. Demnerová K.: Chem. Listy 106, 920 (2012).
14. Department of Prime Industries (NSW Government): *Shelf-life testing – „Use-by“ dates for food safety* (2010).
15. Stavropoulou E., Bezirtzoglou E.: Foods 8, 654 (2019).
16. Huang L.: Food Microbiol. 28, 770 (2011).
17. Van Impe J., Smet C., Tiwari B., Greiner R., Ojha S., Stulić V., Vukušić T., Jambrak A.R.: J. Appl. Microbiol. 125, 16 (2018).
18. Rajchl A., Voldřich M., Čížková H., Hronová M., Ševčík R., Dobiáš J., Pivoňka J.: J. Food Eng. 99, 465 (2010).
19. Song Y., Hu Q., Wu Y., Pei F., Kimatu B. M., Su A., Yang W.: LWT 101, 360 (2019).
20. Upadhyay R., Mishra H. N.: Food Bioprocess Technol. 8, 801 (2015).
21. Yang X., Liu Y., Chen J., Lv Y., Luo Y.: J. Aquat. Food Prod. Technol. 27, 998 (2018).
22. Cui F., Zheng S., Wang D., Tan X., Li Q., Li J., Li T.: Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 22, 1257 (2023).

I. Šístková and H. Čížková (*Department of Food Preservation, University of Chemistry and Technology Prague, Prague, Czech Republic*): **Methods for Determining and Predicting Shelf Life of Food Products**

The length of shelf life can be determined using storage tests that evaluate the physical, chemical, enzymatic, and microbiological stability of the food. The design of the tests as well as the interpretation of the results require microbiological and technical knowledge and skills. Fresh foods can become microbiologically risky before they noticeably spoil. These products will require additional studies such as predictive microbiological models or challenge tests in addition to direct ones. Deterioration of shelf-stable or frozen foods at the end of their shelf life affects quality and consumer acceptance without impacting health and safety. In such a case, accelerated shelf-life testing is recommended, and the Arrhenius model is commonly used to determine the relationship between chemical reaction rate and temperature change.

Keywords: shelf-life testing, microbiological safety, undesirable food changes, food preservation, storage



Užití tohoto díla se řídí mezinárodní licencí Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.cs>), která umožňuje neomezené využití, distribuci a kopírování díla pomocí jakéhokoliv média, za podmínky řádného uvedení názvu díla, autorů, zdroje a licence.