

Predikcia v potravinárskej mikrobiológii
*Súčasný pohľad na problematiku a postrehy zo študijného pobytu
na Institute of Food Research v Readingu*

LUBOMÍR VALÍK

SÚHRN. Prediktívna potravinárska mikrobiológia je založená na predpoklade, že odozvy populácií mikroorganizmov na faktory ich prostredia sú reprodukovateľné. Na základe zostavených modelových pokusov je možné zo zistených pozorovaní predpovedať správanie sa mikroorganizmov v inom prostredí alebo produkte. Cieľom matematického modelovania správania sa mikroorganizmov v modelovom prostredí je predpovedať a zhodnotiť bezpečnosť a trvanlivosť potravín. Experimenty a matematické modelovanie zahŕňujú vplyvy faktorov, ako sú teplota, hodnota pH, aktivita vody a pod. V článku sa uvádzajú príslušné modely a rovnice.

V poslednom čase sa enormne rozvíja oblasť výskumu matematických modelov, ktoré opisujú správanie sa mikroorganizmov v potravinách. Moderné odvetvie potravinárskej mikrobiológie - prediktívna mikrobiológia je založená na predpoklade, že odozvy populácií mikroorganizmov na faktory ich vonkajšieho a vnútorného prostredia (či už ide o modelové prostredie alebo o reálne potraviny) sú reprodukovateľné a ak berieme do úvahy prostredie s identickými dominujúcimi nepriaznivými vplyvmi, z už vykonaných pozorovaní je možné predpovedať odozvy týchto mikroorganizmov [1].

Potravinárska mikrobiológia však už aj v minulosti vždy poskytovala príležitosť pre matematické modelovanie a mikrobiológovia si plne neuvedomovali, že niektoré rutinné techniky, ktoré používali, boli tiež určitou formou mikrobiálnej predpovede.

Pravdepodobne prvými publikovanými dokladmi matematického modelovania boli práce českého biológa Bělehrádka [2], ktorý sa už koncom 20. rokov zaoberal vzťahom rýchlosti biologických dejov a teploty. Jeho

Ing. Lubomír VALÍK, CSc., Katedra mlieka, tukov a hygieny potravín, Chemicko-technologická fakulta STU, Radlinského 9, 812 37 Bratislava.

práce, doteraz často citované, sa stali základom bežne používaného tzv. odmocninového modelu Ratkowského a jeho modifikácií [3,4].

Známy, a nielen mikrobiológom, je aj Monodov citát z r. 1949 [1]: „...rast bakteriálnych kultúr, napriek svojej obrovskej zložitosti, sa všeobecne správa podľa relatívne jednoduchých zákonov... presnosť, jednoduchosť a reprodukovateľnosť stanovenia bakteriálnych rastových konštánt, pokiaľ sa týka kvantitatívnych biologických vlastností, je pozoruhodná a jedinečná.“ Tento citát sa už stal historickým a potvrdzujú ho aj v súčasnosti mnohé práce a modely prediktívnej mikrobiológie významne podporované výkonnou počítačovou technikou.

Kde hľadať korene súčasnej prediktívnej potravinárskej mikrobiológie?

Prvé pokusy predpovedať správanie sa mikroorganizmov pri priemyselnej tepelnej konzervácii potravín vyústili do výpočtov známej D-hodnoty, z-hodnoty a F-hodnoty a i. V týchto prípadoch sa výskumní pracovníci zaoberali lineárnym matematickým modelom, ktorým opísali exponenciálnu inaktiváciu baktérií [5]. Podstatou problému z pohľadu mikrobiológov a technológov bola predikcia koncentrácie najtoxigénnejšieho termorezistentného sporulujúceho organizmu *Clostridium botulinum* v konzervách po ich sterilizácii. Za prakticky nulové riziko z intoxikácie *Cl. botulinum* v nekyslých potravinách sa považuje zníženie obsahu tohto organizmu o 12 logaritmickejch poriadkov, t.j. napríklad z reálneho počtu 100 spór v jednom balení na konečný obsah 1 spóry v 10 mld. konzerv. Neskôr sa vyžadovalo vypočítať tzv. 12 D zníženie obsahu spór v prípadoch, keď tepelná rezistencia mikroorganizmov bola ovplyvnená okrem zvýšenej teploty aj faktormi prostredia potravín, ako sú aktivita vody, teplota, hodnota pH, a zložením použitého média ako aj použitým procesom, vrátane prestupu tepla. Podrobnejšie informácie z tejto oblasti je možné nájsť napríklad v monografii Stumba [6] alebo Kyzlinka [7].

Lineárny model predpovede správania sa mikroorganizmov sa využíva napr. aj v kozmetickom priemysle pri hodnotení účinnosti konzervačných látok. Na základe D-hodnôt sa definovali požiadavky, ktoré musia konzervačné látky spĺňať, aby dostatočne inhibovali patogénne mikroorganizmy, nepatogénne vegetatívne baktérie, kvasinky a plesne [8]. Vyhovujúca konzervačná látka musí napríklad znížiť počet patogénnych mikroorganizmov o 1 logaritmus do 4 hodín tak, aby do 24 h došlo k zníženiu ich obsahu o 6 log poriadkov (6 D koncept).

Podobne by sme mohli definovať aj tzv. D_{av} -hodnotu, ktorá v zmysle tohto označenia znamená zníženie aktivity vody, spôsobujúce zníženie počtu testovaného organizmu o jeden logaritmický poriadok.

Koncom 70. rokov vyvrcholilo štúdium mikrobiálnej bezpečnosti a stability stredne vlhkých potravín s hodnotou aktivity vody 0,90 až 0,60. Dôvodom bola snaha potravinárskeho priemyslu vyrábať mäkké, ale z mikrobiálneho hľadiska trvanlivé potraviny. Proces regulácie, resp. ovládania rozmnožovania sa mikroorganizmov v týchto potravinách, bol založený na spoločnom inhibičnom účinku viacerých faktorov vnútorného a vonkajšieho prostredia, ako napríklad aktivitou vody, aktívnou kyslosťou a tlmiacou schopnosťou, redox-potenciálom, rastovými faktormi, prírodnými alebo pridávanými antimikrobiálnymi látkami, teplotou a kontrolovanou atmosférou [9,10]. Ak sa skombinovali navzájom dva alebo viac faktorov, ich spoločná inhibícia bola väčšia ako súčet parciálnych účinkov jednotlivých faktorov. Vznikol tak koncept tzv. mikrobiálnych prekážok (angl. hurdle technology, nem. Hürden-Technologie), synonymicky tiež nazývaný ako kombinovaný proces konzervácie potravín [11]. Dôkladné porozumenie komplexu interakcií medzi mikrobiálnymi prekážkami umožnilo výskumným pracovníkom vypracovať inhibíciu rastu nežiadúcich mikroorganizmov, redukovať produkciu toxínov a predpovedať trvanlivosť a relatívnu bezpečnosť potravín.

Pre rozvoj matematického modelovania mikrobiálnych vzťahov v potravinách v nedávnej minulosti vzniklo a v súčasnosti vzniká ešte niekoľko ďalších dôvodov, ktoré môžeme čiastočne podľa Buchanan [5] spomenúť:

Predovšetkým ide o zmenené požiadavky konzumentov na stravovanie, ktoré smerujú k maximálnej čerstvosti a minimálnemu technologickému opracovaniu a spracovaniu potravín. Napriek tomu spotrebitelia a zvlášť obchodníci požadujú, aby boli maximálne trvanlivé, čo najdlhšie k dispozícii a samozrejme po minimálnej úprave v domácnosti pripravené na konzumáciu. Výrobcovia sa tak v snahe vyhovieť týmto požiadavkám spotrebiteľov, ktoré si vzájomne protirečia, dostávajú z odborného hľadiska do nevýhodnej pozície. Pre výskumných pracovníkov to znamená vyriešiť tento problém a nájsť a overiť náročnejšie multibariérové systémy konzervácie potravín, v ktorých by kombinácia inhibičných faktorov oddialila mikrobiálne kazenie. V konečnom dôsledku musia predpovedať dobu trvanlivosti a bezpečnosti konzumácie týchto potravín. Nastáva prudký rozvoj matematických modelov, na základe ktorých sa kvantifikujú účinky každého z faktorov prispievajúcich k celkovej mikrobiologickej spoľahlivosti produktu.

Ak máme ďalej na mysli aj riadenie akosti a bezpečnosti výroby potravín systémom HACCP, uvedomíme si, že pomocou matematických modelov

prediktívnej mikrobiológie sa definujú alebo môžu definovať aj kritické limity na konkrétnych kritických ovládacích miestach technologického spracovania a spracovania potravín.

Tretím z dôvodov sú dnešné možnosti využívania výkonnej počítačovej techniky a aplikačných výpočtových programov, ktoré sú prístupné každému a umožňujú racionálne spracovať obrovské množstvá experimentálnych údajov.

Ďalšou príčinou bola a je nepriaznivá epidemiologická situácia na celom svete a následný jednotný tlak odbornej a laickej verejnosti na zníženie počtu ochorení mikrobiálneho pôvodu z požívatín. Varujúce sú v tomto kontexte napr. informácie o obrovskom náraste počtu ochorení spôsobených salmonelami koncom 80. rokov [12], ako aj zvýšenie počtu ochorení spôsobených tzv. novými patogénnymi organizmami, ako napríklad *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, *Escherichia coli* O157 a pod.

Takto vznikla tiež potreba vytvoriť a ďalej zlepšovať spoľahlivú systematickú databázu experimentálnych údajov o správaní sa patogénnych mikroorganizmov v potravinových systémoch, na základe ktorej by zodpovední pracovníci v potravinárskom priemysle boli dobre informovaní a mohli zhodnotiť akosť a zdravotnú bezchybnosť produktov a ovplyvniť podmienky ich uchovávaní, pokiaľ sa nedostanú k spotrebiteľovi. Progresívnym pokusom v tomto smere sa stal aj európsky aplikačný program Food Micromodel.

Experimentálne získané údaje o správaní sa mikroorganizmov

Touto problematikou sa na našom pracovisku zaoberáme už dávnejšie. Získali sme napr. experimentálne údaje o vplyve aktivity vody a teploty na rast a produkciu kyselín u organizmu *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* LF 786 [13]. Merali sme vplyv aktivity vody na rast a tvorbu proteínáz organizmu *Brevibacterium linens* LF 200 [14]. Na požiadanie hygienikov výživy sme skúmali vplyv aktivity vody na prežívanie neinvazívnych salmonel *Salmonella enteritidis* fagotyp 8, *S. bareilly* (kmene 1, 21, 160 a 195), *S. infantis*, *S. virchow* za modelových podmienok [15]. Pre porovnanie osmoúčinnosti sme skúmali vplyv glycerolu, glukózy a NaCl pri rovnakých a_w -hodnotách na rast *Brevibacterium linens* LF 200 [16]. Z hľadiska syrárskej výroby sme skúmali pôsobenie aktivity vody upravenej rôznymi osmoúčinnými látkami na rast a tvorbu kyseliny mliečnej mikróboom *Lactobacillus helveticus* LF 121 [17]. Skúmali sme vplyv konzervačných látok v kozmetických emulziách na ich mikrobiologickú trvanlivosť z hľadiska testovacích mikroor-

ganizmov: *Bacillus subtilis* CCM 1999, *Pseudomonas aureginosa* CCM 1960, *Staphylococcus aureus* CCM 2022, *Escherichia coli* CCM 3988, *Candida albicans* CCY 29310 a *Aspergillus niger* [18]. Pôsobenie rôznych úprav aktivity vody na rast a produkciu kyselín syrársky relevantnými baktériami mliečného kysnutia *Lactococcus lactis* LF 416, *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* LF 786 a *Lactobacillus helveticus* LF 121 sme skúmali v modelových podmienkach simulujúcich prostredie syrov [19].

Na základe týchto experimentálnych skúseností a štúdia svetovej odbornej literatúry sme započali s matematickým spracovávaním vplyvu experimentálne upravených parametrov živného prostredia mikroorganizmov na ich rastové konštanty. Vypracovali sme matematický opis množenia mikroorganizmov podľa kinetických modelov s praktickou aplikáciou u *Penicillium roqueforti* PR3 a *Lactococcus lactis* LF 416 [20]. Na základe štúdia obsiahlej svetovej literatúry sme upozornili na možnosti a výhody prediktívnej mikrobiológie v mikrobiológii potravín [20]. Na tieto možnosti sme upozornili aj na celoštátnom seminári o nových trendoch v potravinárskej mikrobiológii [21]. Myšlienka aplikácie moderného trendu prediktívnej mikrobiológie našla u nás aj ďalších nasledovníkov modelovania rastu baktérií *Escherichia coli* a *Enterobacter aerogenes* CCM 2531 na produkciu biogénnych amínov ako funkcie teploty [22]. Význam tohto trendu spoznali aj pracovníci Výskumného ústavu potravinárskeho, ktorí taktiež začali v tomto smere experimentálne pracovať [23].

Matematické modely používané v prediktívnej potravinárskej mikrobiológii

V odbornej literatúre sa často stretávame s pojmami model a funkcia. Baranyi a Roberts [24] pod termínom model striktne rozumejú súbor predpokladov alebo základných hypotéz študovaného procesu, z ktorých niektoré je možné vyjadriť funkciami alebo (diferenciálnymi) rovnicami. Funkcia je matematická abstrakcia, ktorá zjednodušuje popis jednotlivého modelu.

Existuje viacero spôsobov, ako roztriediť matematické modely používané v potravinárskej prediktívnej mikrobiológii. Rozlišujú sa dve hlavné skupiny modelov: empirické a mechanistické. Empirické modely vychádzajú z pragmatického prístupu, sledovaný jav jednoducho popisujú vhodnými matematickými vzťahmi, ktoré však nepreniknú dostatočne do hĺbky problému. Mechanistické modely vychádzajú z teoretickej základne a ak sú správne formulované, umožňujú interpretovať modelovanú odozvu vo vzťahu k známemu javu alebo procesu.

Modely ďalej môžeme rozdeliť na základe študovaného biologického javu (produkcia toxínu, trvanlivosť, resp. kazenie potravín, rast patogénnych mikroorganizmov, inaktivácia mikroorganizmov), na základe použitého matematického prístupu (týkajúceho sa pravdepodobnosti výskytu určitého javu alebo jeho kinetiky) vzhľadom na počet alebo druh uvažovaných premenných a pod. [25,5].

Whiting a Buchanan [26] navrhli užitočnú klasifikačnú schému modelov pozostávajúcu z primárnych, sekundárnych a terciárnych modelov. Primárne modely definujú zmeny v počte mikroorganizmov (rast alebo prežívanie) v závislosti od času, t. j. počiatočný stav, lag-fázu, rastovú rýchlosť, resp. dosiahnutú maximálnu úroveň populácie. Sekundárne modely opisujú účinkov faktorov kultivácie a prostredia na určitý charakteristický parameter rastu alebo prežívania organizmu. Pre lepšie porozumenie je možné uviesť príklad týkajúci sa teplotnej inaktivácie mikroorganizmov. Zatiaľ čo krivka prežívania mikroorganizmov (závislosť ich počtu od času), ktorá sa používa na výpočet D-hodnoty, je primárny model, tzv. TDT inaktivačná krivka (thermal death-time, závislosť D-hodnoty od teploty), ktorá sa používa na výpočet z-hodnoty, je príkladom sekundárneho modelu. Terciárne modely podľa uvedených autorov navzájom spájajú primárne alebo sekundárne modely do aplikačných programov alebo expertných systémov, ku ktorým môžeme priradiť americký program modelovania rastu patogénnych mikroorganizmov alebo európsky Food Micromodel.

Matematické modelovanie mikrobiálneho rastu - primárne modely

Skôr než stručne uvedieme funkcie popisujúce primárne modely rastu mikroorganizmov, je treba zdôrazniť, že sú prehľadne uvedené vo viacerých odborných prácach McMeekina a kol. [25], Buchanana [5], Rossa a McMeekina [1], Skinnera a kol. [27] alebo Schaffnera a Labuzu [28].

Primárne modely väčšinou vychádzajú z predpokladu logistických funkcií prvého poriadku pre rast populácie. Znamená to, že absolútna rastová rýchlosť, ktorá je definovaná zmenou počtu buniek za jednotku času, je úmerná denzite mikroorganizmov v každom danom čase. Ak by sme túto skutočnosť vyjadrili iným spôsobom, potom veľkosť populácie za časovú jednotku (v určitom časovom intervale) sa zvyšuje konštantným násobkom daným rýchlostnou konštantou. Rýchlostná konštanta je v tomto vzťahu smernicou:

$$\frac{\delta N}{\delta t} = kN$$

N - počet (denzita) mikroorganizmov, k - konštanta úmernosti (rýchlostná konštanta), t - čas.

Po integrácii a reparametrizácii uvedeného vzťahu, v ktorom sa ako rýchlostná konštanta používa tzv. špecifická rastová rýchlosť, dostaneme nasledovnú logistickú funkciu [25]:

$$\log(N) = A + \frac{C}{1 + e^{B(t-M)}}$$

$\log(N)$ - logaritmus počtu baktérií v čase t , A - logaritmus počiatočného počtu baktérií ($A = \log N_0$; inokulum), C - počet log cyklov rastu kultúry (približne $\log N_{max} - \log N_0$), M - čas, pri ktorom je absolútna rýchlosť rastu maximálna, B - relatívna rastová rýchlosť pri čase M .

Inou často používanou funkciou je tzv. Gompertzova 4-parametrová dvojexponenciálna funkcia, ktorá popisuje asymetrickú sigmoidnú rastovú krivku:

$$\log(N) = A + Ce^{-e^{-B(t-M)}}$$

Z rovnice, v ktorej koeficienty majú ten istý význam ako v predchádzajúcej, vyplývajú nasledovné vzťahy:

- pre rastovú rýchlosť počas exponenciálnej fázy rastu $\mu = BC/e$,
- pre trvanie lag-fázy $\lambda = M - 1/B$,
- generačný čas = $\log 2e/BC$.

Hlavný rozdiel medzi logistickou a Gompertzovou funkciou je, že logistická funkcia je symetrická vzhľadom na inflexný bod rastovej krivky, zatiaľ čo Gompertzova rovnica nie je [28].

V obidvoch rovniciach sa ako parameter exponenciálnej fázy rastu používa tzv. špecifická alebo relatívna rastová rýchlosť μ . Je definovaná ako nárast mikroorganizmov delený počtom buniek v danom čase. Ide vlastne o prírastok množstva danej kultúry mikroorganizmov v čase.

Predpoklad, že táto špecifická rýchlosť je počas exponenciálnej fázy rastu konštantná, využili Baranyi a kol. [29] vo svojom modeli, ktorý opísali pomocou diferenciálnych rovníc. Ich zjednodušenú formu je možné vyjadriť nasledovne:

$$\frac{\delta(\log N)}{\delta t} = \frac{q(t)}{1 + q(t)} \mu_{\max} \frac{S(t)}{K_S + S(t)}$$

Premenná $q(t)$ v rovnici reprezentuje fyziologický stav buniek a celý zlomok s touto premennou autori nazvali tzv. prispôsobovacou funkciou α . Táto matematická transformácia sa postupne s prevažujúcim sa rozmnožovaním buniek počas lag-fázy zvyšuje z nízkych hodnôt smerom k 1. Charakterizuje tak procesy prispôsobovania sa mikroorganizmov novému prostrediu a počiatočné prejavy rastu kultúry počas lag-fázy.

Podiel $S/(K_S+S)$ je tzv. inhibičnou funkciou, ktorá sa znižuje v intervale (1,0). V tejto transformácii S vyjadruje koncentráciu substrátu a K_S je Michaelis-Mentenova konštanta.

Z doterajšej praxe je nám známy parameter rastovej krivky mikroorganizmov, čas zdvojenia, označovaný ako generačný čas (GT), ktorý je s maximálnou špecifickou rýchlosťou μ_{\max} v nasledovnom vzťahu:

$$GT = \frac{\ln 2}{\mu_{\max}}$$

Sekundárne modely

Zo sekundárnych modelov sa vo väčšine experimentálnych prác používajú nasledovné uvedené rovnice, ktorých podrobnejší popis by bol vhodný pri riešení konkrétnych problémov matematického modelovania rastu mikroorganizmov. V tomto príspevku máme snahu zredukovať ho na minimum. Vo vzťahu k faktorom vnútorného alebo vonkajšieho prostredia modelových pokusov alebo požívatín sa modeluje predovšetkým dĺžka trvania lag-fázy alebo špecifická rastová rýchlosť počas exponenciálnej fázy rastu mikrobiálnej kultúry.

Ako jedna z prvých matematických rovníc vyjadrujúcich vzťahy parametrov mikrobiálnych rastových kriviek k faktorom modelovaného prostredia sa aplikovala Arrheniova rovnica. Ako reakcia prvého poriadku vychádza z predpokladu, že vzťah medzi reakčnou rýchlosťou a teplotou je lineárny:

$$k = A \cdot e^{\frac{-E_a}{RT}}$$

k - špecifická rastová rýchlosť, A - konštanta, R - univerzálna plynová konštanta, T - absolútna teplota, E_a - aktivačná energia.

Táto rovnica je vhodná pre modelovanie rastovej rýchlosti mikroorganiz-

mov v obmedzenom intervale suboptimálnych až optimálnych teplôt [28].

Inou bežne používanou rovnicou opisujúcou vplyv teploty na rastovú rýchlosť je tzv. odmocninová alebo Ratkowského rovnica:

$$\sqrt{k} = b(T - T_{min})$$

k - rastová rýchlosť, b - regresný koeficient, T - teplota a T_{min} - potenciálna minimálna teplota rastu, keď $k = 0$.

Davey [30] vo svojej práci využil Arrheniov lineárny prístup pri modelovaní predpovedí kombinovaného vplyvu teploty a aktivity vody na bakteriálnu rastovú rýchlosť. Výsledkom jeho práce bol model, ktorý opísal nasledovnou rovnicou:

$$\ln k = C_0 + \frac{C_1}{T} + \frac{C_2}{T^2} + C_3 a_v + C_4 a_v^2$$

k - rastová rýchlosť, T - absolútna teplota, C_1 až C_4 - koeficienty, ktoré sa na základe experimentálnych výsledkov musia stanoviť.

Spoločný účinok aktivity vody, hodnoty pH a piatich skladovacích teplôt na rast salmonel experimentálne sledovali Gibsonová a kol. (1988) [31]. Lineárne odozvy prostredia na rast salmonel vyjadrili vo forme polynomickej rovnice, ktorá sa v súčasnosti v matematickom modelovaní často používa. Jej všeobecný tvar vyjadruje rovnica:

$$y = C_0 + C_1 a_v + C_2 pH + C_3 t + C_4 a_v^2 + C_5 pH^2 + C_6 t^2 + C_7 a_v pH + C_8 a_v t + C_9 tpH + C_{10}$$

V tejto rovnici závisle premená y ako odozva určená faktormi modelového prostredia reprezentuje rastovú rýchlosť. a_v , pH a t sú aktivita vody, hodnota pH a teplota v poradí. C_1 až C_{10} sú koeficienty ako v predošlej rovnici.

Modelovanie mikrobiálnych odoziev na faktory vonkajšieho a vnútorného prostredia požívatín zahŕňa vo svojich posledných fázach definovanie spoľahlivosti vyslovených predpovedí, ich overenie a ich porovnanie s výsledkami publikovanými vo vedeckej literatúre alebo s výsledkami opakovaných pokusov v reálnych požívatinách.

Prediktívna potravinárska mikrobiológia poskytuje ohromný potenciál pre potravinársky priemysel. Pomocou modelovania bakteriálneho rastu, resp. prežívania môžu výskumní pracovníci:

- získať dôležité informácie pre predpoveď mikrobiologickej stability novovytváraných produktov,
- zhodnotiť priame účinky a vzájomné interakcie viacerých kombinácií

konzervačných látok,

- zistiť správanie sa mikroorganizmov v požívatinách, ktorých faktory vnútorného alebo vonkajšieho prostredia majú na mikrobiálny rast inhibičný účinok,
- stanoviť dobu trvanlivosti a bezpečnosti konzumácie potravín,
- zhodnotiť potenciálne zdravotné nebezpečenstvo z potravín, ktoré boli vystavené účinku vyšších teplôt,
- efektívne využiť databázy informácií o správaní sa mikroorganizmov v modelových pokusoch, a tým znížiť potrebu časovo náročných experimentov pre ďalší výskum.

Prediktívna potravinárska mikrobiológia účelovo spája inžinierstvo, matematiku a štatistiku a potravinársku mikrobiológiu, aby poskytla zmysluplné a užitočné informácie o správaní sa mikroorganizmov v potravinových systémoch. V prípade, že mikrobiálne predpovede sa dotýkajú trvanlivosti, resp. kazenia požívatín, využívajú sa rovnice primárnych modelov pre rastovú rýchlosť mikroorganizmov. Pre predpovede odoziev správania sa mikroorganizmov vplyvom faktorov prostredia požívatín slúžia sekundárne modely a príslušné rovnice. Ak hodnotíme možnosti ochorenia z požívatín mikrobiálneho pôvodu (intoxikácie a infekcie), prichádzajú do úvahy predpovede o prítomnosti alebo absencii toxínu a o schopnostiach patogénov prežívať alebo rásť v prostredí konkrétnych požívatín. V praxi sa už dajú využiť tzv. terciárne modely programov Food Micromodel alebo Pathogen Modelling Program.

Literatúra

1. ROSS, T. - McMEEKIN, T. A.: Predictive microbiology. Int. J. Food Microbiol., 23, 1994, č. 3/4, s. 241-264.
2. BĚLEHRÁDEK, J.: Temperature coefficients in biology. Biol. Rev. Biol. Proc. Camb. philos. Soc., 5, 1930, s. 30-60.
3. RATKOWSKY, D. A. - OLLEY, J. N. - McMEEKIN, T. A. - MALL, A.: Relationship between temperature and growth rate of bacterial culture growth rate of bacterial cultures. J. Bacteriol., 149, 1982, s. 1-5.
4. McMEEKIN, T. A. - CHANDLER, R. E. - DOE, P. E. - GARLAND, C. D. - OLLEY, J. - PUTRO, S. - RATKOWSKY, D. A.: Model for the combined effect of temperature and water activity on the growth rate of *Staphylococcus xylosus*. J. appl. Bacteriol., 62, 1987, č. 6, s. 543-550.
5. BUCHANAN, R.: Predictive food microbiology. Trends Food Sci. Technol., 4, 1993, č. 1, s. 6-11.
6. STUMBO, C. R.: Thermobacteriology in food processing. New York and London,

- Academic Press 1965. 236 s.
7. KYZLINK, V.: Základy konzervace potravin. Praha, SNTL 1980. 516 s.
8. ORTH, D. S.: Standardizing preservative efficacy test data. *Cosmetics & Toiletries*, 106, 1991, s. 45-51.
9. LEISTNER, L. - RÖDEL, W.: The stability of intermediate moisture foods with respect to microorganisms. In: Intermediate moisture foods. Ed. Davies, R. - Birch, G. G. - Parker, K. J. London, Applied Science Publishers 1976, s. 120-137.
10. MOSSEL, D. A. A.: Microbiology of foods. Occurrence, prevention and monitoring of hazards and deterioration. Utrecht, University of Utrecht - Faculty of Veterinary Medicine 1977. 165 s.
11. LEISTNER, L.: Principles and applications of hurdle technology. In: New methods of food preservation. Ed. Gould, G. W. London, Blackie Academic & Professional 1995. 324 s.
12. ELEY, A. R.: Microbial food poisoning. London, Chapman & Hall 1994. s. 1-21.
13. VALÍK, L. - PAŽITNÁ, G. - GÖRNER, F.: Vplyv aktivity vody na rast a produkciu kyselín *Streptococcus thermophilus*. *Bull. potrav. Výsk.*, 31, 1992, č. 4, s. 257-268.
14. ZEMANOVIČ, J. - VALÍK, L. - GÖRNER, F.: Vplyv aktivity vody na rast a tvorbu proteínáz *Brevibacterium linens*. *Bull. potrav. Výsk.*, 31, 1992, č. 4, s. 249-256.
15. VALÍK, L. - GÖRNER, F.: Water activity (a_w) and survival of some *Salmonella* sp. In: 3rd World congress of food infections and intoxications. Berlin, Institute of veterinary medicine - Robert von Ostertag-Institute of the Federal Health Office 1992, s. 338-342.
16. VALÍK, L. - ZEMANOVIČ, J. - GÖRNER, F.: Vplyv glycerolu, glukózy a NaCl na rast *Brevibacterium linens*. *Bull. potrav. Výsk.*, 33, 1994, č. 3-4, s. 205-212.
17. VALÍK, L. - GÖRNER, F.: Effect of water activity adjusted with different solutes on growth and lactic acid production by *Lactobacillus helveticus*. *Folia Microbiol. (Praha)*, 40, 1995, č. 5, s. 472-474.
18. HOJEROVÁ, J. - GEYEROVÁ, S. - VALÍK, L. - ZEMANOVIČ, J.: Overenie mikrobiologických účinkov konzervačných látok pre kozmetické emulzné prípravky. [Výskumná správa.] Bratislava, Chemickotechnologická fakulta STU 1995. 82 s.
19. VALÍK, L. - GÖRNER, F. - ZEMANOVIČ, J.: Vplyv aktivity vody na rast a produkciu kyselín syrářsky relevantných baktérií mliečného kysnutia. *Potrav. Vědy*, 13, 1995, č. 5, s. 355-367.
20. VALÍK, L. - GÖRNER, F.: Predpovedná mikrobiológia. *Bull. potrav. Výsk.*, 34, 1995, č. 3-4, s. 123-134.
21. VALÍK, L. - GÖRNER, F.: Metódy mikrobiálnej predpovede v potravinárstve - prediktívna al. prognostická mikrobiológia. In: Moderní trendy v mikrobiologii potravin. Seminár Československej spoločnosti mikrobiologickej v Třešti, 1995, s. 43-56.
22. GREIF, G. - GREIFOVÁ, M.: Modelovanie rastu baktérií ako funkcia teploty a produkcia amínov. In: Mikrobiologie potravin 1996. Sborník přednášek. Československá společnost mikrobiologická 1996, s. 33-42.
23. SATKO, J. - RUŽIČKOVÁ, A.: Prediktívna mikrobiológia - moderný spôsob zabezpečenia mikrobiologickej bezpečnosti potravín. *Infoservis v potravinárstve*, príloha časopisu *Trendy v potravinárstve*, 4, 1997, č. 4, s. 5.
24. BARANYI, J. - ROBERTS, T. A.: Mathematics of predictive food microbiology. *Int. J. Food Microbiol.*, 26, 1995, č. 2, s. 199-218.
25. McMEEKIN, T. A. - OLLEY, J. N. - ROSS, T. - RATKOWSKY, D. A.: Predictive microbiology: theory and application. Taunton, UK, Research Studies Press 1993. 340 s.
26. WHITING, R. C. - BUCHANAN, R. L.: Microbial modelling. *Food Technol.*, 48, 1994, č. 6, s. 113-120.
27. SKINNER, G. E. - LARKIN, J. W. - RHODEHAMEL, E. J.: Mathematical modelling of microbial growth. *J. Food Safety*, 14, 1994, č. 3, s. 175-217.

28. SCHAFFNER, D. W. - LABUZA, T. P.: Predictive microbiology: where are we, and where are we going? Food Technol., 51, 1997, č. 4, s. 95-99.
29. BARANYI, J. - ROBERTS, T. A. - MCCLURE, P.: A non-autonomous differential equation to model bacterial growth. Food Microbiol., 10, 1993, č. 1, s. 43-59.
30. DAVEY, K. R.: A predictive model for combined temperature and water activity on microbial growth during the growth phase. J. appl. Bacteriol., 67, 1989, s. 483-488.
31. GIBSON, A. M. - BRATCHELL, N. - ROBERTS, T. A.: Predicting microbial growth: Growth responses of salmonellae in a laboratory medium as affected by pH, sodium chloride, and storage temperature. Int. J. Food Microbiol., 6, 1988, č. 2, s. 155-178.

Do redakcie došlo 21.11.1997.

Prediction in food microbiology

*Present view on problems and observations from study stay
at the Institute of Food Research in Reading*

VALÍK, L.: Bull. potrav. Výsk., 36, 1997, p. 225-236.

SUMMARY. Predictive food microbiology is based upon the premise that the response of the populations of microorganisms to environmental factors are reproducible. Based upon data from model experiments, it is possible to predict the behaviour of the microorganisms in different environments or products. The aim of the mathematical modelling of the behaviour of microorganisms is to predict and evaluate safety or shelf life of the food. The experiments and the mathematical modelling incorporate such critical growth factors as temperature, pH, water activity, and NaCl content. Corresponding models and equations are presented in this paper.