

Екологічна упаковка для харчових продуктів (від теорії до практики)

С.Б. Вербицький, к.т.н., К.В. Копилова, д.с.-г.н., О.Б. Козаченко, О.В. Вербова, Т.С. Кос, к.т.н., Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ

«Gut verpackt ist halb verkauft» («Те, що добре упаковано, вже наполовину продано») — стверджує старе, проте виключно актуальне німецьке прислів'я. Водночас стосується воно переважно маркетингового боку справи, і аж ніяк не найголовнішого — такого, наприклад, як гарантування безпечності харчової продукції, дуже часто швидкопсувної та потенційно небезпечної для життя та здоров'я споживачів [1]. Цілком розуміючи відсутність будь-якого сенсу наголошувати на важливості проблем пакування на шпальтах фахового видання для пакувальників, дозволимо собі зупинитися лише на найголовніших моментах.

По-перше, визначимося з термінологією. В чинних нормативних документах України, у тому числі національних стандартах ДСТУ, термін «пакування» означає процес, технологічну операцію. Натомість «пакування», кажучи офіційною мовою, це «засіб або комплекс засобів, що забезпечують захист продукції від пошкоджень і втрат, а навколишнього середовища — від забруднень, а також забезпечують процес обороту продукції. Тара — основний елемент пакування, що являє собою виріб для розміщення і просторового переміщення продукції».

По-друге, дотримуймося принципів об'єктивності. Обмежений обсяг цього матеріалу не дозволяє навести вичерпний опис кожного згаданого екопакування із зазначенням всього комплексу характеристик — як позитивних, так і негативних. Тому згадувані в короткому критичному розділі об'єктивно негативні та суб'єктивно скептичні моменти стосуються, тією чи іншою мірою, всіх зазначених у цій статті екологічних пакувальних матеріалів.

Екологія — а навіщо це?

Ще донедавна серед принципових вимог до пакувань зазначали надійність захисту продукції від несприятливих зовнішніх впливів, подовження терміну зберігання, інформування споживачів про склад продукту та реквізити виробника. Були й деякі інші вимоги, проте серед них не було екологічних характеристик пакувальних матеріалів. Довгий час переважала думка про мінімальну екологічну шкоду фактично невагомим пакувальним плівкам. Багато в чому такі міркування своїм корінням сягають 1970–80-х рр., коли СРСР за обсягом випуску пластмас поступав навіть Західній Німеччині (тобто ФРН без її східних земель). Радянський обиватель ретельно прав рідкісні полімерні пакети й зовсім не поспішав ділитися ними з довкіллям. Нині ж вітчизняна економіка рухається в кільватері глобальних тенденцій, до яких, зокрема, належить і значне збільшення частки продукції, яку виробляють у споживчій тарі, причому роздрібний ринок вимагає подальшого збільшення пропозиції маловагових та мало-

габаритних пакувань. Вочевидь, така тенденція обумовлює лавиноподібне навантаження на довкілля, оскільки переважна частина пакувальних матеріалів (полімерні плівки, полімерна тара для рідких продуктів, скляна тара та ін.) фактично не зазнають біорозкладу за природних умов [2].

До полімерного пакета — з європейським підходом

У Європейському Союзі є чинною Директива (ЄС) 2015/720 Європейського Парламенту і Ради від 29 квітня 2015 р. про скорочення використання тонких полімерних пакетів, яка доповнила базову Директиву 94/62/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 20 грудня 1994 р. про упаковку й відходи упаковки. Українські законодавці вжили заходів щодо імплементації зазначених європейських вимог у нашій країні та розробили проект Закону України «Про зменшення кількості пластикових пакетів в цивільному обігу» (№ 9507 від 16 квітня 2019 р.). Через низку інституційних та технічних невідповідностей цей законопроект отримав негативний висно-



вок експертів і направлений авторам на доопрацювання. Так чи інакше, Україна стоїть на порозі великих змін у використанні пакувальних матеріалів. В останній редакції згаданого законопроекту містяться нормативні обмеження на використання полімерних пакетів, крім біорозкладних і надлегких, визначаються вимоги до них, а також до їх маркування.

Полімери з титулом «біо»

Використовуваний фахівцями та науковцями термін «біопластмаси» не є однозначним. Він може дефінувати і біорозкладні матеріали, що піддаються компостуванню, і біопластмаси, вироблені на основі відновлюваних природних ресурсів [3]. Придатні до



компостування біопластмаси, незалежно від походження сировини для їх виготовлення (поновлювана або нафтохімічна), повинні відповідати всім критеріям, зазначеним у стандартах ДСТУ EN 13432:2015 «Упаковка. Вимоги до упаковки, утилізованої способом компостування і біодеградації. Тестові схеми та критерії оцінювання для остаточного прийняття упаковки» та ASTM D6400-12 «Стандартні технічні умови маркування пластиків, розроблених для аеробного компостування на місцевих або індустріальних потужностях» [2]. Застосовувані у світовій практиці позначення пакувань, утилізацію яких здійснюють компостуванням та біодеградацією, наведено на рис. 1.

Проблема полягає в тому, що термін «біорозкладний» є загальноживаним, проте не є однозначно визначеним, оскільки умови біорозкладу не запроваджені нормативно. На практиці доказом біорозкладу є викиди CO₂ унаслідок біологічних процесів. Визначання біорозкладу через емісію CO₂ чітко відрізняє його від процесу розкладу, ініційованого спеціальними добавками, що проводять лише до фрагментації звичайного полімеру [4]. Біопластмаси, вироблені на основі відновлюваних природних ресурсів, можуть містити до 100 % натуральних компонентів, проте не бути придатними до біологічного розкладу [2].

Знаємо «про», а як щодо «contra»?

На жаль, біорозкладні полімери мають, порівняно з традиційними, дуже суттєві недоліки, і це перешкоджає їх широкому застосуванню в пакуванні харчових продуктів. Основними з них є:

- недостатня надійність порівняно з полімерами нафтохімічного походження;
- надмірна ламкість і крихкість;
- надмірна чутливість до вологості середовища;
- нестійкість щодо низьких температур (для деяких матеріалів);
- неналежні бар'єрні властивості (для деяких матеріалів).

Британський дослідник К. Вільямсон вважає, що біополімери слід заборонити, оскільки сукупне екологічне навантаження від їх виробництва перевищує навантаження від полімерів з викопних вуглеводнів. Також наявність біополімерів у загальній масі традиційних полімерів перешкоджає нормальній рециркуляції останніх, тому нагальною стає необхідність облаштування окремої системи збирання та рециркуляції біополімерів. Ще однією причиною відмовитися від біополімерів, на думку К. Вільямсона, є їх переважне виробництво із цінної харчової сировини, що є неприпустимим в умовах глобального дефіциту продовольства [5].

а)



Compostable

б)



Biodegradable

Рис. 1. Міжнародні піктограми для позначення полімерів, що піддаються компостуванню (а) або біорозкладу (б)

Незважаючи на наявність досліджень щодо сучасних екологічних пакувальних матеріалів, до цього часу не вдалося розробити такі способи пакування з їх використанням, які б знайшли застосування на вітчизняних підприємствах з виробництва харчових продуктів — в основному через неналежну стійкість і високу вартість впровадження відповідних технологій [2].

Зазначене є яскравим проявом притаманного проблемі сучасного масового пакування харчових продуктів дуалістичного протиріччя. Засади харчової безпечності й сучасні вимоги ресурсозбереження щодо продовження терміну зберігання харчової продукції вимагають застосування пакувань зі стійких у хімічному та біохімічному сенсі матеріалів належної механічної міцності; водночас такі матеріали надзвичайно важко піддаються розкладу в природних умовах, який може тривати від кількох років до багатьох століть.

харчової безпечності й сучасні вимоги ресурсозбереження щодо продовження терміну зберігання харчової продукції вимагають застосування пакувань зі стійких у хімічному та біохімічному сенсі матеріалів належної механічної міцності; водночас такі матеріали надзвичайно важко піддаються розкладу в природних умовах, який може тривати від кількох років до багатьох століть.

Біорозкладна ієрархія

Сьогодні існує досить багато можливостей для промислового виготовлення різноманітних біорозкладних матеріалів. Зазвичай відрізняють три їх групи:

- рослинні полімери, використовувани самостійно або в суміші з біорозкладними синтетичними полімерами;
- мікробні полімери, отримувани шляхом ферментування сільськогосподарської сировини, використовуваної як субстрат; серед них відрізняють полігідроксиалканоати (ПГА) [6], найвідомішим представником яких є ПГБВ (полігідроксибутират співвалеріат);
- мономери або олігомери, полімеризовані шляхом звичайних хімічних процесів та отримані ферментуванням сільськогосподарської сировини, використовуваної як субстрат; найвідомішим з них є полілактонова кислота (ПЛА).

Запропонована автором [6] класифікація біорозкладних полімерів відрізняється від наведеної вище наявністю додаткового, четвертого класу, що охоплює продукти, отримані шляхом синтезу з нафтохімічної сировини: полікапролактони (ПКЛ); поліефірами (ПЕА); аліфатичний співполіефір, такий як полібутилен сукцинат адипат (ПБСА); ароматичний співполіефір, такий як полібутилен адипат співтерефталат (ПБАТ).

Практичного поширення набули біорозкладні полімери ПКЛ і ПЛА, проте найрозповсюдженішими залишаються похідні крохмалю [2, 6]. На рис. 2 представлено ієрархію біорозкладних полімерів, а також використовувану для їх виготовлення сировину.

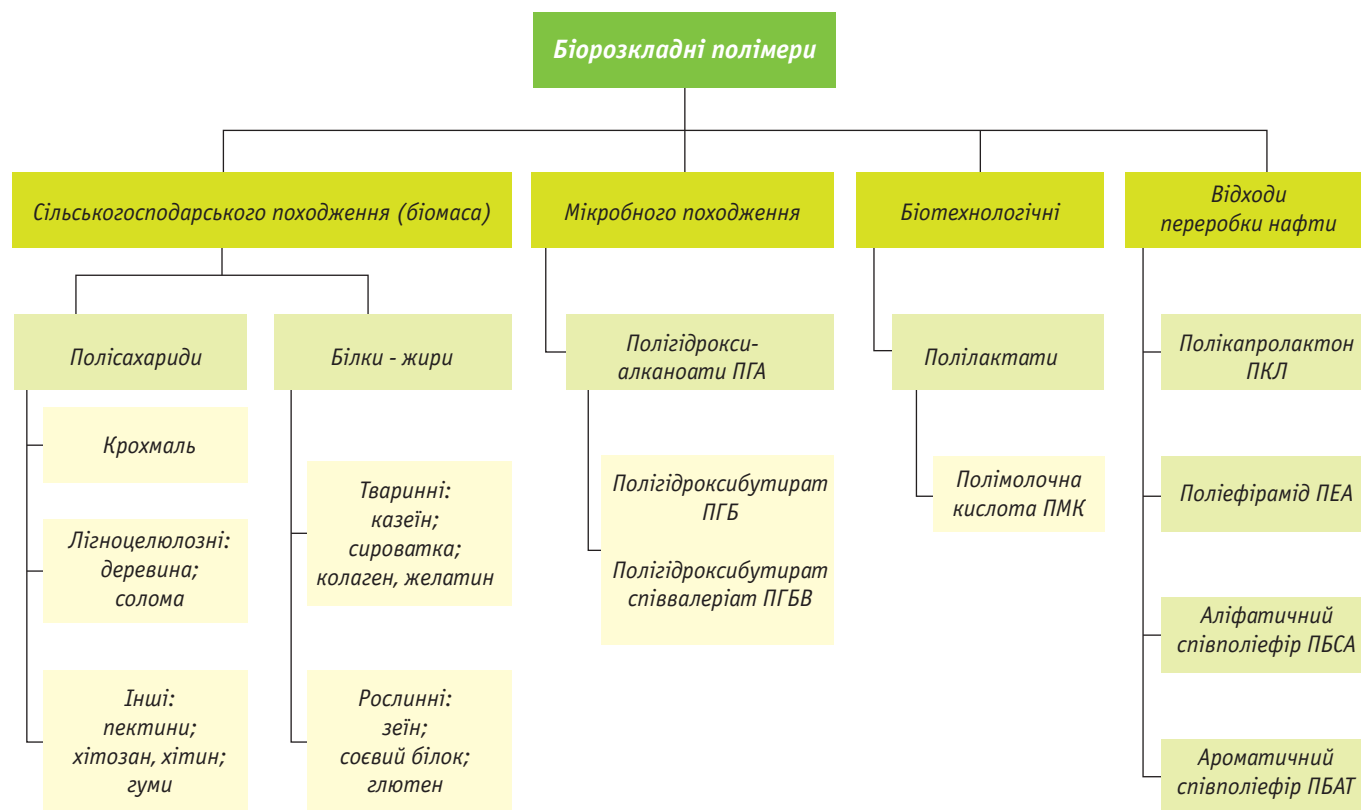


Рис. 2. Ієрархія біорозкладних полімерів*

Важливі особливості біополімерів

Насамперед згадаємо крохмаль, який є вуглеводом, що складається з приблизно 10–30 % амілози та 70–90 % амілопектину залежно від походження. Одна молекула крохмалю утворюється кількома одиницями глюкози, сполученими глікозидними зв'язками. Хоча крохмаль не розчиняється у воді, він з нею контактує та утворює мережу, що містить воду, підвищуючи в'язкість суміші. У полімерній промисловості крохмаль може використовуватися як наповнювач або як основний матеріал. У першому випадку крохмаль використовують у кількості до 15 %, а в другому випадку — понад 40 %. Біополімерні властивості структур на основі крохмалю залежать від кількості води й відносної вологості навколишнього середовища. Механічні властивості цих біополімерів та їх здатність до

біорозкладу залежать від кількості амілози в структурі крохмалю: для того, щоб поліпшити здатність біополімеру до біорозкладу в аеробних або анаеробних умовах, вміст амілози слід збільшувати. Наприклад, для виробництва упаковки для харчової промисловості полістирол може бути замінений на термопластичний крохмаль, який характеризують прийнятні механічні властивості, зокрема стійкість до згинання та витягування. Для оброблення крохмалю використовують пластифікатори сорбітол або гліцерин, після чого суміш піддають механічній та термічній обробці [8–10].

Така органічна сполука, як целюлоза, є дуже поширеною в природі, вона піддається біорозкладу та компостуванню, їй властиві низька щільність, висока механічна міцність, технологічна прийнятність для виготовлення плівок, довговічність, низька

вартість і хімічна стабільність. Цей матеріал нерозчинний у воді, проте дуже гідрофільний, він складається з одного мономера глюкози у формі β -D-глюкопіранозу, утворюючи регулярну структуру в вигляді матриці гідроксильної групи. Щоб отримати із целюлози целофан, її розчиняють у суміші гідроксиду натрію й сірковуглецю з отриманням ксантану целюлози (ксантогенату), який після оброблення сірчаною кислотою формується в целофанову плівку. Додаючи необхідні добавки до ефіру целюлози, можна отримати термопластичні матеріали. Для того, щоб поліпшити бар'єрні властивості пакування із целюлози, їх покривають тонким шаром синтетичного полімеру, що сприяє зниженню проникності водяної пари та газів крізь плівку [8–10].

Хітозан є похідним хітину, який отримують шляхом обробки панцирів

*опрацьовано авторами за [6, 7].



ракоподібних гідроксидом натрію, це молекула хітину без ацетильних груп амінополісахарид 2-аміно-2-дезоксид- β -D-глюкан. Хітозан використовують для виробництва пакувань для харчової продукції, що мають протигрибкові, антимікробні та противірусні властивості. Хітозан застосовують для виробництва біорозкладної тари як наповнювач, а також у поєднанні з іншими органічними сполуками. Є приклади біорозкладних матеріалів, до основного матеріалу яких додають хітозан і ферулову кислоту [8].

Пектин є гетерополісахаридом зі структурою, складеною з лінійних ланцюжків α -1,4-D-галактуронової кислоти, він є ефективним колоїдним стабілізатором, емульгатором та загущувачем. Інший полісахарид, що є ефективним колоїдним стабілізатором і желувальним агентом, — це альгінат, який виробляють з водоростей *Laminaria* та *Macrocystis*. Цей полісахарид присутній у структурі мономера з β -D-маннууронової та α -L-гулууронової кислот, зв'язаної з α -1,4-глюкозидом. Інший драглетуворювач — це стабілізатор карагенан, який також отримують із морських водоростей. Його структуру формують 3,6-галактоза та ангідрогалактоза, з'єднані за допомогою α -1,3 β -1,4-глюкозидів [8, 10].

Біорозкладні матеріали, використовувані в упаковках для харчової продукції, виготовляють із використанням рослинних (соя, кукурудза, пшениця, горох тощо) і тваринних білків (казеїн, колаген, сироватка, кератин, желатин тощо). Це можуть бути промислові відходи від виробництва желатинових капсул як основний полімерний матеріал, а також спиртовий екстракт і волокна з відходів виробництва чорничного соку в якості наповнювачів із концентраціями 0,05; 0,10 і 0,15 г/мл. Дослідження показали, що додавання наповнювачів не впливає на макроструктуру плівки,

натомість матеріал набуває поліпшених властивостей як бар'єр щодо ультрафіолетового опромінення, має виразну антиоксидантну активність, забезпечує стійкість продукту щодо світла та температурних умов навколишнього середовища [8].

Категорія біополієфірів охоплює, відповідно до процесів їх синтезу, три такі групи: ПЛА — продукт звичайного синтезу біологічно отриманих мономерів (біотехнології); ПГА, отримані методом екстракції (мікроорганізми); ПКЛ, аліфатичні полієфіри та ароматичні полієфіри, одержані традиційним синтезом синтетичних мономерів (нафтопродукти) [6–8].

Для пакувань харчових продуктів активно використовують полімери ПЛА з відмінними оптичними та механічними властивостями. Цю органічну сполуку виробляють шляхом бродіння вуглеводів з молочнокислими бактеріями. Полімолочна кислота є термічно нестабільною, оскільки під час термічної обробки молекулярна маса швидко знижується. Порівняно з полістиролом та поліетилентерефталатом, коефіцієнти проникності CO_2 і O_2 для ПМК малі, а модулі пружності, міцності на розрив і згину затверділого ПЛА дають значення вищі, ніж ті, що є характерними для полістиролу, поліпропілену і поліетилену високої щільності. Вивчення білкових плівок з біорозкладної ПМК та співполієфірованої полімолочної кислоти і співполієфірів показало незмінність кінцевого продукту щодо його біорозкладності. Виявилося, що покриття із сироват-

кового білка не перешкоджало компостуванню пакувань і суттєво покращило бар'єрні властивості щодо кисню. Якщо передбачати більшу кількість шарів білкових плівок у середині пакувального матеріалу для харчових продуктів, упаковка може бути належним чином захищена від води й прямого контакту з ними [8]. Біорозкладні полімери ПГА, утворювані шляхом ферментації, містять жирні кислоти із чотирма або п'ятьма бічними гідроксильними групами. Залежно від типу мономера 3-гідроксиду жирних кислот, складні полієфіри ПГА можуть бути: а) гомополімерами, що містять один тип мономера; б) співполімерами, що містять два типи мономерів; в) гетерополімерами, що містять понад один вид мономерів різної довжини. Властивості ПГА залежать від їх хімічного складу. У порівнянні з ПМК, ці складні полієфіри демонструють кращі бар'єрні властивості й механічну міцність, що сприяє виробництву якісних біорозкладних пакувальних матеріалів [8].

Полікапролактон стійкий до води, розчинників та олій. Його використовують для виробництва біорозкладних пакувань у комбінації з крохмалем, що забезпечує належні механічні й термічні властивості. Для поліпшення механічних і теплових властивостей до суміші ПКЛ/хітозан додають 1 % наночастинок CaCO_3 [8].

Що стосується аліфатичних і ароматичних співполієфірів, ароматичні співполімери демонструють кращі фізичні й механічні властивості порівняно з аліфатичними.

Проте виразні антибактеріальні та протигрибкові властивості ароматичних співполієфірів зменшують їх здатність до біологічного розкладу в природних умовах. Якщо біополімери призначені для пакувань для харчових продуктів, суміш слід формувати з аліфатичних та ароматичних співполімерів для забезпечення належної здатності до біорозкладу й компостування [8].



З метою прискорення фото- та біорозпаду плівок до них вводять пульпу целюлози, проте фоторозкладна складова швидко розпадається в процесі компостування, а основний синтетичний наповнювач біорозкладу не піддається. Методами біотехнології отримано мікробний поліоксидутират, який за своїми пластичними властивостями близький до класичних полімерів (поліетилену, поліпропілену та ін.) та безперешкодно піддається розкладу під дією мікроорганізмів, а також ферментів плазми тваринних тканин, його відходи руйнуються природною ґрунтовою мікрофлорою до мономерів. Перспективним напрямом є синтез біорозкладних полімерних матеріалів зі структурою, подібною до структури природних полімерів: складного полієфіру аліфатичного ряду, що має хімічну структуру, аналогічну структурі поліоксиацетобутирату целюлози; аналога лігніну (метоксистирола), здатного до біодеструкції поліаміду, складного полієфіру, що руйнується мікроорганізмами, до складу якого входять молочна й фенілмолочна кислоти. Також створюють композиції на основі синтетичного полімеру й природного наповнювача (крохмаль, целюлоза, амілоза, амілопектин, декстрини та ін.), що є живильним середовищем для мікроорганізмів. Отриманий матеріал є частково біорозкладним, оскільки матриця синтетичного полімеру повністю не розкладається.

Не обійдемося без узагальнень

Отже, розв'язанню нагальної екологічної проблеми, генерованої харчовою промисловістю, а саме суттєвого навантаження на довкілля, вираженого в збільшенні обсягів пакувань, може і повинне посприяти щонайширше використання біорозкладних пакувань, виготовлених з біополімерів, що піддаються компостуванню, а також із біополімерів на основі відновлюваних природних ресурсів. Біорозкладні матеріали поділяють на такі: рослинні полімери; мікробні полімери, отримувані шляхом ферментування сільськогосподарської сировини в якості субстрату; моно-

мери або олігомери, полімеризовані шляхом звичайних хімічних процесів та отримані ферментуванням сільськогосподарської сировини в якості субстрату; продукти, отримані шляхом синтезу з нафтохімічної сировини. Найбільш поширеними біорозкладними полімерами є похідні крохмалю. Також перспективними, у сенсі застосування щодо харчових продуктів, є біорозкладні плівки на основі казеїну. Водночас пропонувані виробниками біорозкладні полімери не є достатньо стійкими до механічних, хімічних та інших впливів, тому повна чи принаймні суттєва заміна традиційних полімерних пакувальних матеріалів біорозкладними наразі не є можливою.

Література

1. Халайджі В.В., Кривошей В.М. Упаковка для харчових продуктів та напоїв. Київ : ІАЦ «Упаковка», 2018. 216 с.
2. Копилова К.В., Вербицький С.Б., Кос Т.С., Вербова О.В., Козаченко О.Б. Оцінювання можливості та доцільності використання екологічних пластмас для пакування харчових продуктів // Збірник наукових праць за матеріалами XI Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки» (20–21 грудня 2018 р., м. Полтава). Полтава : ПолтНТУ, 2018. С. 140–145.
3. Ангельс Д., Марта Д., Лор С., Циммерманн П. Пластмассы, созданные природой: от мечты к реальности // Упаковка. 2012. № 6. С. 14, 15.
4. Narayan R. Misleading claims and misuse. Proliferate in the Nascent // Bioplastics Magazine. 2010. Vol. 5. P. 38–41.
5. Cunningham J. Time to ban biodegradable plastic? // Engineering Materials. 06 March 2015.
6. Averous L. Etude de système polymers multiphasés: approche des relations matériaux-procédés-propriétés // Habilitation à diriger des recherches, Université de Reims Champagne-Ardenne. 2002. Т. 46.
7. Weber C.J. Biobased packaging materials for the food industry: status and perspectives, a European concerted action. KVL, 2000.
8. Bunea M. Studiul materialelor plastice biodegradabile pentru ambalarea

produselor alimentare // Conferința științifică internațională „Perspectivele și Problemele Integrării în Spațiul European al Cercetării și Educației”, Universitatea de Stat „B.P. Hasdeu” din Cahul, 7 iunie 2017, Volumul I. P. 317–321.

9. Jabeen N., Majid I., Nayik G. A. Bioplastics and food packaging: A review // Cogent Food & Agriculture. 2015. Vol. 1.
10. Gabor (Naiaretti) D., Tita O. Biopolymers used in food packaging: A review // Acta Universitatis Cibiniensis Series E: Food Technology. 2012. Vol. XVI. No. 2.

Экологическая упаковка для пищевых продуктов (от теории к практике)

С.Б. Вербицкий, к.т.н., К.В. Копилова, д.с.-х.н., О.Б. Козаченко, А.В. Вербова, Т.С. Кос, к.т.н.

Статья посвящена вопросам экологической, в частности биологической и биоразлагаемой, упаковки для пищевых продуктов. Рассмотрены институциональные и терминологические проблемы в указанной сфере. Проанализированы положительные и отрицательные аспекты экологических биоразлагаемых упаковок. Представлены различные подходы к составлению иерархии биоразлагаемых упаковочных материалов. Представлены характеристики ряда биоразлагаемых материалов: растительных полимеров; микробных полимеров; мономеров или олигомеров химического и ферментного происхождения; синтезированных из нефтепродуктов и т. д. Сделан вывод о том, что наиболее распространенными биоразлагаемыми полимерами являются производные крахмала.

Ключевые слова: экологическая упаковка; биологическая упаковка; биоразлагаемая упаковка; растительные полимеры; микробиологические полимеры; производные крахмала.

Ecological packaging for food products (from theory to practice)

S.B. Verbitsky, Ph.D. (Technique), K.V. Kopylova, D-r of Sciences (Agriculture), O.B. Kozachenko, A.V. Verbowa, T.S. Kos, Ph.D. (Technique)

This article is devoted to the issues of ecological, in particular, biological and biodegradable, food packaging. The institutional and terminological problems in this area are considered. The positive and negative aspects of ecological biodegradable packages are analyzed. Various approaches are presented to compile a hierarchy of biodegradable packaging materials. The characteristics of a number of biodegradable materials are presented, namely: plant polymers; microbial polymers; monomers or oligomers of chemical and enzymatic origin; synthesized from petroleum products, etc. It was concluded that starch derivatives are the most common biodegradable polymers.

Key words: ecological packaging; biological packaging; biodegradable packaging; plant polymers; microbiological polymers; starch derivatives.