



Disponible en ligne sur  
**ScienceDirect**  
[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

Elsevier Masson France  
**EM|consulte**  
[www.em-consulte.com](http://www.em-consulte.com)

REVUE FRANÇAISE  
D'**Allergologie**

Revue française d'allergologie xxx (2019) xxx–xxx

Mise au point

# Surf, méduses et allergie au natto (soja fermenté) : une nouvelle saga ?

*Surf, jellyfish and allergy to fermented soybeans (natto): a new connection?*

X. Van der Brempt

*Pneumo-allergologie, allergopôle, clinique Saint-Luc, 8, Rue Saint-Luc, 5004 Bouge, Belgique*

Reçu le 14 janvier 2019 ; accepté le 7 février 2019

## Résumé

Suite à la découverte de cas d'allergie alimentaire au natto depuis 2004, une nouvelle « chaîne » allergologique a été découverte, avec à l'origine des piqûres (ou l'ingestion) de méduses chez des patients adeptes de sports nautiques, et un allergène commun entre méduses et natto : l'acide poly-gamma-glutamique (PGA). Les interactions entre ces différents éléments et les utilisations potentiellement très larges du PGA font l'objet de cette mise au point.

© 2019 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

**Mots-clés** : Natto ; Acide poly-gamma-glutamique ; Méduses ; Sports nautiques ; Surf

## Abstract

Following the discovery in 2004 of cases of natto food allergy, a new “allergological connection” has been described resulting from jellyfish stings or ingestion of jellyfish among adepts of marine sports, and involving an allergen common to both jellyfish and natto, namely gamma-polyglutamic acid ( $\gamma$ -PGA). This paper focuses on the interactions between natto,  $\gamma$ -PGA and jellyfish, as well as the potentially wide-ranging uses of  $\gamma$ -PGA.

© 2019 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

**Keywords** : Natto; Gamma-polyglutamic acid; Jellyfish; Marine sports; Surf

## 1. Introduction

La plupart des allergènes, que ce soient ceux des acariens, des pollens, des animaux ou des aliments, sont des protéines. De par leur poids moléculaire en général relativement élevé, et leur structure tridimensionnelle souvent pelotonnée sur elle-même, les protéines peuvent présenter au système immunitaire différents sites immunogènes, conformationnels ou structuraux, appelés épitopes, qui vont donner lieu à une reconnaissance immunitaire et à la synthèse d'anticorps, avec potentiellement apparition d'allergie s'il s'agit d'anticorps de type IgE.

Quant aux molécules plus petites, non protéiques, comme la pénicilline par exemple, on considère que pour devenir allergéniques elles doivent être couplées à des protéines (par exemple l'albumine humaine), pour former ce qu'on appelle une haptène.

On a cru longtemps que les radicaux hydrocarbonés n'étaient pas allergisants. Cependant, la littérature récente donne divers exemples qui prouvent le contraire. On peut citer notamment les CCD (*Cross-reactive Carbohydrate Determinants*), des médicaments comme le macrogol (polymère d'éthylène glycol) ou l'histoire extraordinaire de la morsure de tique et l'allergie à l'alphagal (galactose-alpha-galactose).

Une autre “saga” a vu le jour dans la littérature ces dernières années, qui fait intervenir une autre famille d'allergènes : existerait-il une relation entre les sports nautiques, les piqûres de méduses, et des allergies ou anaphylaxies alimentaires ?

Adresse e-mail : [xavier@bremptallergy.be](mailto:xavier@bremptallergy.be)

<https://doi.org/10.1016/j.reval.2019.02.224>

1877-0320/© 2019 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Voire médicamenteuses ? C'est le sujet de cette mise au point.

## 2. Historique

En 2004, Inomata publie le premier cas d'anaphylaxie au "natto", un aliment japonais traditionnel à base de fèves de soja fermentées par *Bacillus subtilis* (*B. natto*) [1]. Un homme de 36 ans avait présenté plusieurs épisodes d'anaphylaxie sévère (grade 3 de Ring et Messmer), chaque fois durant son sommeil ou en fin de nuit. Après explorations fouillées, il s'est avéré qu'il avait chaque fois consommé du natto, mais la veille au soir, soit 10–12 h avant l'apparition de l'anaphylaxie. Les tests cutanés étaient positifs uniquement pour le natto, avec présence d'IgEs (test ELISA artisanal). En 2005 il publie un autre cas avec TPO positif 13 h après consommation de 50 g de natto [2]. En 2007 sa série comporte 7 cas d'anaphylaxies sévères (grades 3 à 4, tous des hommes adultes), avec des symptômes survenant entre 5 et 14 h après l'ingestion de natto [3]. À noter qu'aucun de ces patients ne présentait une allergie ni au soja, ni à *B. Subtilis*.

En 2010 est publié un premier cas pédiatrique d'anaphylaxie au natto, chez un garçon de 12 ans, toujours au Japon [4]. En 2011 un des patients de Inomata, allergique au natto, présente une anaphylaxie sévère 3 h après consommation d'une soupe de nouilles chinoises, contenant une petite quantité d'acide poly-gamma-glutamique (PGA), seul ingrédient suspect [5]. Ce polymère d'acide glutamique est le principal constituant du mucilage du natto, sécrété par *B. Subtilis*. Le prick-test au PGA était fortement positif, également légèrement positif pour l'acide glutamique (peut-être partiellement polymérisé), mais négatif pour un assaisonnement à base de glutamate monosodique (forme monomère).

Enfin, en 2014, un des patients d'Inomata, allergique au natto depuis 8 années, présente 2 anaphylaxies sévères 2 h après l'ingestion d'une salade de méduses ; c'est un surfeur de 45 ans, qui a été piqué maintes fois par des méduses. Comme les organites venimeux des méduses, ou nématocystes, contiennent également du PGA, il postule que son patient s'est sensibilisé au PGA par voie transcutanée via les piqûres de méduses, et est ensuite devenu allergique au natto, très riche en PGA [6]. Dans son dernier article, il démontre que le surf est le facteur de risque majeur de devenir allergique au natto (11 de ses 13 patients allergiques au natto sont des surfeurs ou plongeurs fréquemment piqués par des méduses) [7].

## 3. Discussion

### 3.1. L'allergie au natto

Le natto est un aliment à base de fèves de soja jaune bouillies, qui ont ensuite fermenté une douzaine d'heures en présence de *Bacillus subtilis*. Il est riche en protéines de haute valeur biologique, en minéraux et vitamines (c'est notamment l'aliment le plus riche en vitamine K2 ou ménoquinone, importante pour la fixation du calcium dans les os), et est très populaire en Asie, où il se consomme avec du riz ou du pain, y compris au petit-déjeuner. Un peu comme nos fromages forts, son goût semble

plus agréable que son odeur et son aspect filant-gélatineux. Il reste peu consommé chez nous, bien qu'il soit facile d'en trouver en magasin asiatique, et même de le préparer chez soi avec une simple yaourtière (Fig. 1) [8].

L'allergie au natto reste très rare : une vingtaine de cas retrouvés dans la littérature, publiés par 5–6 équipes toutes asiatiques ; si les cas d'Inomata sont presque tous associés à la pratique de sports nautiques en mer, surtout le surf, cet élément n'est pas mentionné par la plupart des autres auteurs (Tableau 1). Il n'y a aucun lien avec l'allergie au soja, ni d'ailleurs avec d'autres produits dérivés du soja comme le tempeh (fermentation de soja avec un champignon, le *Rhizopus oligosporus*), le miso (pâte de soja avec riz ou orge, fermentés par *Aspergillus oryzae*) ou le tofu (jus de soja non fermenté, caillé au chlorure de magnésium). Les travaux s'accordent sur le fait que l'allergène est l'acide poly-gamma-glutamique (PGA), un polymère d'acide glutamique synthétisé par *B. Subtilis* durant le processus de fermentation. Le poids moléculaire élevé du PGA explique sans doute le caractère parfois très retardé de l'anaphylaxie au natto : il faut du temps pour que ce polymère soit digéré en petits peptides susceptibles d'entrer en contact avec le système immunitaire.

Plusieurs auteurs ont souligné les points communs entre l'anaphylaxie au natto et l'anaphylaxie à l'alphagal, qui sont en effet assez frappants (Tableau 2).

### 3.2. L'allergie aux méduses

Les méduses font partie de l'embranchement des Cnidaires ou coelentérés. Elles sont constituées d'un ectoderme, d'un endoderme, et d'une substance gélatineuse située entre les deux, la mésogée ; selon les espèces, 95 à 98 % de leur masse totale est composée d'eau. Les tentacules des méduses sont couvertes de petits sacs à venin pourvus d'un harpon, appelés nématocystes, fabriqués par et contenus dans des cellules spécialisées, les cnidocytes.

Les contacts entre humains et méduses, et donc les allergies éventuelles, peuvent survenir de deux façons : par piqûre ou par ingestion.

#### 3.2.1. Piqûres de méduses

La composition du venin des méduses varie très fortement d'une espèce à l'autre ; la plupart sécrètent des substances simplement urticantes, mais certaines sécrètent des neurotoxines et des hémolysines potentiellement mortelles. On estime que les méduses sont responsables de 15 à 30 fois plus de décès annuels que les attaques de requins [14]. Comme pour d'autres animaux venimeux (araignées, serpents), il est souvent difficile de distinguer toxicité et allergie.

Le premier cas d'anaphylaxie à une piqûre de méduse a été publié en 1985 [15] : anaphylaxie de grade 4 après piqûre unique de méduse, et démonstration de la présence d'IgEs. La plupart du temps dans nos régions (Atlantique Nord, Méditerranée), les piqûres de méduses occasionnent une urticaire locale, une douleur bénigne à modérée, durant quelques heures à quelques jours ; une étude italienne a estimé que sur 1733 cas de piqûres de méduses ayant nécessité des soins médicaux, 6,2 % avaient eu des symptômes évocateurs d'allergie, mais avec une seule



Fig. 1. .

Tableau 1  
Rapports de cas d'allergie au natto.

| Année     | Auteur       | n (sexe:H/F) | Age (ans) | Piq. méduse | Activités marines | Réf  |
|-----------|--------------|--------------|-----------|-------------|-------------------|------|
| 2004–2018 | Inomata      | 13 (10H)     | 20–59     | + (11/13)   | Surf              | [7]  |
| 2006      | Suzuki       | 1 (H)        | 22        | ?           | ?                 | [9]  |
| 2010      | Matsubayashi | 1 (H)        | 12        | –           | –                 | [4]  |
| 2014      | Honda        | 1 (H)        | 26        | ?           | ?                 | [10] |
| 2014      | Ikemoto      | 1 (F)        | 72        | ?           | ?                 | [11] |
| 2017      | Mori         | 1 (F)        | 7         | –           | –                 | [12] |
| 2018      | Tsuzuki      | 1 (F)        | 57        | +           | Pêcheuse          | [13] |

Tableau 2

Comparaison entre allergie au PGA et allergie à l'alphagal.

|                                     | PGA                   | Alphagal                  |
|-------------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Sensibilisation initiale            | Piqûre méduse         | Morsure tique             |
| Source de l'allergène               | Nématocystes          | Salive tique              |
| Aliment contenant le même allergène | Natto                 | Viande rouge              |
| Type d'allergène                    | Polypeptide           | Chaîne glucidique         |
| Activités à risque                  | Pêcheurs              | Chasseurs                 |
|                                     | Activités marines     | Activités forestières     |
| Type d'anaphylaxie                  | Retardée, sévère      | Retardée, sévère          |
| Présence de l'allergène dans        |                       |                           |
| Médicaments                         | Anticancéreux         | Anticancéreux (cetuximab) |
| Aliments                            | Sodas, crèmes glacées | Gélatine bovine/porcine   |
|                                     | Méduses (ingestion)   |                           |

anaphylaxie [16]. Le plus récent cas publié est celui d'une petite brésilienne de 3 ans qui a présenté un angioedème sévère du visage et des symptômes respiratoires après piqûre à la main [17]. A noter que les piqûres de méduses sont un facteur de risque d'anaphylaxie chez les patients porteurs d'une mastocytose, il faut donc penser à doser la tryptase basale dans ce cas [18].

Au total, seulement une poignée de cas d'anaphylaxie aux piqûres de méduses a été publiée, alors qu'on estime à 150 millions les personnes exposées aux méduses annuellement dans le monde [19], avec probablement quelques millions de piqûres par an.

Les allergènes sont mal connus. Les travaux cités ci-dessus incriminent le PGA dans certains cas, mais dans un cas plus proche de nous, un espagnol de 76 ans a présenté une anaphylaxie typique après piqûre de méduse, et l'allergène mis en évidence ou suspecté est le collagène [20], tout comme dans un autre cas japonais récent [21].

### 3.2.2. Consommation de méduses

Certaines espèces de méduses font partie du menu dans divers pays d'Asie et aussi en Australie depuis des millénaires. Curieusement, le premier cas d'anaphylaxie alimentaire à la consommation de méduses n'a été publié qu'en 2013 [22] : anaphylaxie de grade 3 une demi-heure après la consommation, aggravée ensuite par un effort physique (danse) ; la patiente de 32 ans, japonaise, était une surfeuse fréquemment piquée par des méduses. Depuis lors, seulement 7 cas ont été publiés, 6 japonais et un chinois [6,21–26]. Lorsque les allergènes ont été explorés, le PGA a été incriminé dans certains cas, mais aussi le collagène [21], et parfois sans notion de piqûre préalable de méduse [23]. A noter que le collagène constitue la base des gélatines, qui sont constituées de collagène partiellement hydrolysé par chauffage, et la piste de la sensibilisation croisée est avancée par un des auteurs [21]. En France, la gélatine alimentaire est encore majoritairement d'origine porcine, et si une sensibilisation croisée semblerait possible avec la gélatine bovine, elle est nettement moins probable avec la gélatine provenant des poissons, donc sans doute aussi avec le collagène des méduses par exemple [27].

Il ne semble pas y avoir de sensibilisation croisée entre les allergènes des méduses et ceux des poissons, ni des mollusques ou des crustacés, et notamment pas de sensibilisation à la tropomyosine [23,28].

## 4. Allergie au PGA : le présent et le futur

Jusqu'à présent, tous les cas publiés d'allergie alimentaire au PGA sont survenus via la consommation soit de natto, soit de méduses, et la plupart des patients avaient été piqués auparavant par des méduses. Mais le PGA a des propriétés très intéressantes et la recherche scientifique s'y intéresse depuis longtemps.

Le PGA est un polymère d'acide D- et L-glutamique, c'est donc un polypeptide. Contrairement aux protéines, il ne se pelotonne pas sur lui-même, et forme de très longues chaînes expliquant son poids moléculaire élevé, pouvant aller de 0,1 à 1000–2000 kDa. Il est comestible, biodégradable, sans toxicité connue, il n'a pratiquement pas de goût, il n'est pas détruit par les enzymes gastro-intestinales, et ses applications potentielles sont extrêmement variées, allant de l'hydratation de la peau (cosmétiques, sous le nom INCI de "natto gum") à un rôle de vecteur de médicaments en passant par l'alimentation ou les compléments alimentaires. Il peut par exemple absorber plus de 1000 x son poids en eau, ce qui le rend très intéressant tant sur le plan alimentaire que dans le domaine agricole ou médical. Son seul inconvénient actuellement est son prix de revient élevé. Le Tableau 3 donne un aperçu des possibilités d'utilisation du PGA [29–33].

## 5. Méduses : le présent et le futur

Quant aux méduses, pas mal de travaux récents font état de périodes de pullulation massive dans certaines régions (on parle de "jellyfish blooms"), dont les causes sont mal connues, et cette abondance a des inconvénients qui peuvent être majeurs, tant pour le tourisme, que pour la pêche, la pisciculture marine, ou encore pour le pompage d'eau de mer pour le refroidissement de centrales nucléaires ou pour la fabrication d'eau douce à partir d'eau de mer [34]. Une des solutions avancées serait... de les manger ! Toutes les espèces ne sont pas comestibles, mais la pêche mondiale de méduses pour consommation humaine atteignait déjà 425,000 tonnes en 2005 [34]. Si nous arrivons à surmonter notre dégoût naturel pour les « nouveaux aliments », il faudra donc rester attentif à l'apparition éventuelle d'allergies alimentaires aux méduses chez nous.

Tableau 3

Aperçu des domaines d'utilisation du PGA [29–33].

| Secteur                    | Mode d'action                 | Exemples                 |
|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Agricole                   | Fertilisant                   | Engrais                  |
|                            | Economiseur d'eau             | Culture en milieu aride  |
| Traitement des eaux usées  | Agent flocculant              | Filtration, épuration    |
|                            | Chélation des métaux lourds   | Ni, Cu, Mn, Al, Pb..     |
| Bio-médical/pharmaceutique | Vecteur de médicaments        | Vaccins, lansoprazole    |
|                            | Chimiothérapie anticancer     | Cisplatine, paclitaxel   |
|                            | Antioxydant                   | Chélateur d'oxydes       |
|                            | Cryoprotecteur                | Médicaments, aliments    |
|                            | Prévention ostéoporose        | Vecteur de calcium       |
|                            | Adhésif biologique            | Pansements biologiques   |
|                            | Agent hydratant               | Cosmétique               |
|                            | Anti-xérostomie               | Gommes à mâcher, bonbons |
| Alimentaire                | Agent texturant, épaississant | Crèmes glacées, boissons |
|                            | Agent améliorant du pain      | Conservation, moelleux   |
|                            | Diminution absorption d'huile | Aliments frits           |

## 6. Conclusion

Cette nouvelle histoire, qui n'est pas sans rappeler celle de l'alphagal, illustre bien notre allergologie moderne : un minutieux travail de détective, couplé à des techniques biologiques de pointe, permettant d'expliquer et de traiter des pathologies complexes et multidisciplinaires. Dans l'anamnèse de nos patients porteurs d'anaphylaxies inexpliquées, il faudra peut-être dorénavant inclure des questions concernant d'éventuelles piqûres de méduses, la consommation d'aliments asiatiques et spécialement de natto ou rechercher la présence de PGA dans des aliments ou compléments alimentaires, des médicaments ou des cosmétiques.

## Déclaration de liens d'intérêts

L'auteur déclare ne pas avoir de liens d'intérêts.

## Références

- [1] Inomata N, Osuna H, Ikezawa Z. Late-onset anaphylaxis to *Bacillus natto*-fermented soybeans (natto). *J Allergy Clin Immunol* 2004;113:998–1000.
- [2] Inomata N, Osuna H, Yanagimachi M, Ikezawa Z. Late-onset anaphylaxis to fermented soybeans: the first confirmation of food-induced, late-onset anaphylaxis by provocation test. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2005;94:402–6.
- [3] Inomata N, Osuna H, Kawano K, Yamaguchi J, Yanagimachi M, Matsukura S, et al. Late-onset anaphylaxis after ingestion of *Bacillus Subtilis*-fermented soybeans (Natto): clinical review of 7 patients. *Allergol Int* 2007;56:257–61.
- [4] Matsubayashi R, Matsubayashi T, Yokota T, Ohno Y, Fujita N, Nakashima Y, et al. Pediatric late-onset anaphylaxis caused by natto (fermented soybeans). *Pediatr Int* 2010;52:657–8.
- [5] Inomata N, Chin K, Nagashima M, Ikezawa Z. Late-onset anaphylaxis due to poly ( $\gamma$ -glutamic acid) in the soup of commercial cold Chinese noodles in a patient with allergy to fermented soybeans (natto). *Allergol Int* 2011;60:393–6.
- [6] Inomata N, Chin K, Aihara M. Anaphylaxis caused by ingesting jellyfish in a subject with fermented soybean allergy: possibility of epicutaneous sensitization to poly-gamma-glutamic acid by jellyfish stings. *J Dermatol* 2014;41:752–3.
- [7] Inomata N, Miyakawa M, Aihara M. Surfing as a risk factor for sensitization to poly( $\gamma$ -glutamic acid) in fermented soybeans, natto, allergy. *Allergol Int* 2018;67:341–6.
- [8] Laure Kié, Cuisine franco-japonaise; <http://www.laurekie.com/cuisine/fabriquer-son-natto-maison#>; consulté le 6/1/2018 et cité avec l'accord écrit de l'auteur.
- [9] Suzuki S, Nakamura Y, Kawano Y, Nishioka K. A case of "late-onset" anaphylaxis caused by fermented soybeans; Natto. *Arerugi* 2006;55:832–6.
- [10] Honda T, Michigami M, Miyachi Y, Kabashima K. A case of late-onset anaphylaxis to fermented soybeans (natto). *J Dermatol* 2014;41(10):940–1.
- [11] Ikemoto C, Tamagawa-Mineoka R, Masuda K, Iida S, Inomata N, Katoh N. Immediate-onset anaphylaxis of *Bacillus subtilis*-fermented soybeans (natto). *J Dermatol* 2014;41:857–8.
- [12] Mori S, Tsumagari S, Kurihara K. A case of a 7-year-old girl with late-onset anaphylaxis to fermented soybeans. *Pediatr Allergy Immunol* 2017;28:501–2.
- [13] Tsuzuki Y. Fermented soybean (japanese natto) induced late-onset anaphylaxis in a fisherwoman: a case report. *Allergy* 2018;73(S105):433 [A0777].
- [14] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Méduse\\_\(animal\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Méduse_(animal)). Consulté le 6/1/2018.
- [15] Togias AG, Burnett JW, Kagey-Sobotka A, Lichtenstein LM. Anaphylaxis after contact with a jellyfish. *J Allergy Clin Immunol* 1985;75:672–5.
- [16] De Donno A, Idolo A, Bagordo F, Grassi T, Leomanni A, Serio F, et al. Impact of stinging jellyfish proliferations along south Italian coasts: human health hazards, treatment and social costs. *Int J Environ Res Public Health* 2014;11:2488–503.
- [17] Pereira JCC, Szpilman D, Haddad Junior V. Anaphylactic reaction/angioedema associated with jellyfish sting. *Rev Soc Bras Med Trop* 2018;51:115–7.
- [18] Castells MC, Akin C. Mastocytosis (cutaneous and systemic): Epidemiology, pathogenesis, and clinical manifestations. UpToDate 2019.
- [19] Boulware DR, randomized A. controlled field trial for the prevention of jellyfish stings with a topical sting inhibitor. *J Travel Med* 2006;13:166–71.
- [20] Cañas JA, Rodrigo-Muñoz JM, Rondon-Cepeda SH, Bordehore C, Fernández-Nieto M, Del Pozo V. Jellyfish collagen: A new allergen in the beach. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2018;120:430–1.
- [21] Suzuki S, Miyata Y, Jinno M, Kishino Y, Homma T, Ota S, et al. An adult case of anaphylaxis caused by allergy to jellyfish. *Arerugi* 2017;66:804–8.
- [22] Imamura K, Tsuruta D, Tsuchisaka A, Mori T, Ohata C, Furumura M, et al. Anaphylaxis caused by ingestion of jellyfish. *Eur J Dermatol* 2013;23:392–5.
- [23] Okubo Y, Yoshida K, Furukawa M, Sasaki M, Sakakibara H, Terakawa T, Akasawa A. Anaphylactic shock after the ingestion of jellyfish without a history of jellyfish contact or sting. *Eur J Dermatol* 2015;25:491–2.

- [24] Kubota S, Nozawa A, Yanai T, Ozasa K, Mori S, Kurihara K. The case of a 14-year-old boy who experienced anaphylaxis due to jellyfish (mastigias papua) ingestion. *Arerugi* 2017;66:809–12.
- [25] Li Z, Tan X, Yu B, Zhao R. Allergic shock caused by ingestion of cooked jellyfish: A case report. *Medicine (Baltimore)* 2017;96(38): e7962.
- [26] Kawakami Y, Taga S. Anaphylaxis due to ingestion of jellyfish with possible evidence of epicutaneous sensitization. *J Dermatol* 2018;45(1): e23–4.
- [27] Retterer MKC, Workman LJ, Bacon JR, Platts-Mills TAE. Specific IgE to gelatin as a cause of anaphylaxis to zoster vaccine. *J Allergy Clin Immunol* 2018;141:1956–7.
- [28] Amaral L, Raposo A, Morais Z, Coimbra A. Jellyfish ingestion was safe for patients with crustaceans, cephalopods, and fish allergy. *Asia Pac Allergy* 2018;8(1):e3.
- [29] Ogunleye AO. Bacterial poly-gamma-glutamic acid ( $\gamma$ -PGA)—a promising biosorbent of heavy metals [thesis]. UK: University of Wolverhampton; 2015.
- [30] Taniguchi M1, Kato K, Shimauchi A, Xu P, Fujita K, Tanaka T, et al. Physicochemical properties of cross-linked poly-gamma-glutamic acid and its flocculating activity against kaolin suspension. *J Biosci Bioeng* 2005;99:130–5.
- [31] Khalil IR, Burns AT, Radecka I, Kowalczyk M, Khalaf T, Adamus G, et al. Bacterial-Derived Polymer Poly- $\gamma$ -Glutamic Acid ( $\gamma$ -PGA)-Based Micro/Nanoparticles as a Delivery System for Antimicrobials and Other Biomedical Applications. *Int J Mol Sci* 2017;18(2.) [pii: E313].
- [32] Kumarr M, Raj J, Gopalan N, Ramana K, Sharma R. Poly ( $\gamma$ -) Glutamic Acid: A Promising Biopolymer. *Defence Life Science Journal* 2018;3:301–6.
- [33] Tanimoto H. Food Applications of Poly-Gamma-Glutamic Acid. In: Hamano Y, Steinbüchel A, editors. *Amino-acid homopolymers occurring in nature*. Microbiology Monographs, 15. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 2010. p. 155–68.
- [34] Richardson AJ, Bakun A, Hays GC, Gibbons MJ. The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. *Trends Ecol Evol* 2009;24(6):312–22.