



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«Η ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΣΤΗ ΝΟΣΟ»**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Staphylococcus aureus και σημασία για την ασφάλεια των
τροφίμων - Ανασκόπηση νεότερων δεδομένων και μελέτη
περιπτώσεων**

Νικόλαος Λεοντάρης

Κτηνίατρος MSc

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

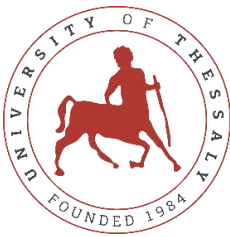
Σολωμάκος Νικόλαος, Αναπληρωτής Καθηγητής Εργαστηρίου Υγιεινής Τροφίμων Ζωικής Προέλευσης, Τμήμα Κτηνιατρικής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Επιβλέπων Καθηγητής

Γιαννούλη Περσεφόνη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Τεχνολογίας και Ποιοτικού Ελέγχου Τροφίμων Φυτικής Προέλευσης, Τμήμα Βιοχημείας & Βιοτεχνολογίας Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Μέλος Τριμελούς Επιτροπής

Λιάκος Παναγιώτης, Καθηγητής Ιατρικής Βιοχημείας, Τμήμα Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος Τριμελούς Επιτροπής

Σολωμάκος Νικόλαος

Λάρισα, 2025



**UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF HEALTH SCIENCES
FACULTY OF MEDICINE
POSTGRADUATE STUDIES PROGRAM
NUTRITION IN HEALTH AND DISEASE**



DIPLOMA THESIS

**Staphylococcus aureus and its importance for food safety - Review
of recent data and case studies**

Πρόλογος- Ευχαριστίες

Κατά την διάρκεια της μελέτης και συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας συνέλαβαν πάρα πολλοί άνθρωποι, συνθήκες και παράγοντες οι οποίοι έπαιξαν καθοριστικό ρόλο για να προκύψει το παρόν αποτέλεσμα.

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω ευχαριστίες στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας και συγκεκριμένα τον επιβλέπων καθηγητή κύριο Σολωμάκο Νικόλαο για την ευκαιρία που μου έδωσαν να εκπονήσω τη παρούσα διπλωματική εργασία. Θεωρώ ότι η γνώση μέσα από ένα Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών συγκεντρώνεται στη διπλωματική εργασία η οποία ακολουθεί τον συγγραφέα κατά τη διάρκεια της ακαδημαϊκής -επαγγελματικής του πορείας.

Ολοκληρώνοντας θα ήταν παράλειψη μου να μην ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση και στήριξη που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας.

Περίληψη στα Ελληνικά

Η μελέτη που ακολουθεί θέτει ως αντικείμενο διερεύνησης τον *Staphylococcus aureus* και τη σημασία του στην ασφάλεια των τροφίμων και η ανασκόπηση των νεότερων δεδομένων, όπως και η μελέτη περιπτώσεων. Ο *S. aureus* έχει ιδιαίτερη σημασία για την ασφάλεια των τροφίμων, καθώς αποτελεί έναν από τους βασικούς παθογόνους μικροοργανισμούς που σχετίζονται με τροφιμογενείς δηλητηριάσεις. Ο στόχος της μελέτης για τον *S. aureus* στον τομέα της ασφάλειας των τροφίμων περιλαμβάνει τον εντοπισμό και χαρακτηρισμό των στελεχών του *S. aureus* που εμπλέκονται σε τροφιμογενείς λοιμώξεις, αλλά και την μελέτη των μηχανισμών παθογένειας, με έμφαση στις εντεροτοξίνες και τη επίπτωσή τους στη δημόσια υγεία. Επιπρόσθετος στόχος της είναι ο καθορισμός των κατηγοριών τροφίμων και των διαδικασιών που συμβάλλουν στη μόλυνση, αλλά και η ανάλυση της επίδρασης περιβαλλοντικών συνθηκών (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία) στην ανάπτυξη και παθογένεια του βακτηρίου. Η μελέτη στοχεύει επίσης στην εξέταση της εξάπλωσης στελεχών ανθεκτικών σε αντιβιοτικά (π.χ. MRSA) στον τομέα των τροφίμων και στην ανάπτυξη πολιτικών για την πρόληψη της μετάδοσης ανθεκτικών στελεχών από τα τρόφιμα στον άνθρωπο. Εστιάζει ακόμη στην παροχή επιστημονικής βάσης για τη θέσπιση κανονισμών και πολιτικών που διασφαλίζουν την ποιότητα και ασφάλεια τροφίμων.

Η μέθοδος πραγματοποίησης της μελέτης χαρακτηρίζεται δευτερογενής, καθότι βασίζεται στην ανασκόπηση πληροφοριών και στοιχείων από άλλες επιστημονικές μελέτες και αρθρογραφία. Η δευτερογενής μελέτη αποτελεί μία αξιόπιστη, αποτελεσματική και αναγνωρισμένη μέθοδο για την ανασκόπηση και παρουσίαση σύνθετων θεμάτων όπως η σχέση του *S. aureus* με την ασφάλεια των τροφίμων.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα της μελέτης αποδεικνύεται η επικινδυνότητα του στην *S. aureus* πρόκληση τροφιμογενών λοιμώξεων. Η παρουσία του στα τρόφιμα σχετίζεται κυρίως με την ακατάλληλη υγιεινή και τη θερμική κακομεταχείριση, ενώ τα τρόφιμα υψηλού κινδύνου, όπως τα κρέατα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα, είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στη μόλυνση από αυτόν τον μικροοργανισμό.

Τα κύρια συμπεράσματα που εξάγονται από την μελέτη που πραγματοποιήθηκε είναι πως η σωστή διαχείριση και επεξεργασία των τροφίμων, σε συνδυασμό με τις σύγχρονες τεχνολογίες υγιεινής, είναι απαραίτητη για την αποτροπή τροφιμογενών λοιμώξεων και τη διασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων στην κατανάλωση.

Περίληψη στα Αγγλικά

The following study investigates *S. aureus* and its importance for food safety and reviews recent data and case studies. *S. aureus* is of particular importance for food safety, as it is one of the main pathogenic microorganisms associated with foodborne poisoning. The aim of the study on *S. aureus* in the field of food safety includes the identification and characterization of *S. aureus* strains involved in foodborne poisoning, as well as the study of the mechanisms of pathogenesis, with emphasis on enterotoxins and their contribution to public health. An additional aim is to determine the most dangerous food categories and processes that contribute to contamination and to analyze the effect of environmental conditions (e.g. temperature, humidity) on the growth and toxicity of the bacterium. The study also aims to examine the spread of antibiotic-resistant strains (e.g. MRSA) in the food sector and to develop policies to prevent the transmission of resistant strains from food to humans. It also focuses on providing a scientific basis for the establishment of regulations and policies that ensure food quality and safety.

The method of carrying out the study is characterized as secondary, as it is based on a review of information and data from other scientific studies and articles. Secondary research is a reliable, effective and recognized method for reviewing and presenting complex issues such as the relationship of *S. aureus* with food safety.

Regarding the results of the study, the risk of *S. aureus* causing foodborne infections is proven. Its presence in food is mainly related to improper hygiene and thermal mishandling, while high-risk foods, such as meat and dairy products, are particularly vulnerable to contamination by this microorganism.

The main conclusions drawn from the study carried out are that proper food handling and processing, in combination with modern hygiene technologies, is essential for preventing foodborne infections and ensuring food safety for consumption.

Περιεχόμενα

Περίληψη στα Ελληνικά	4
Περίληψη στα Αγγλικά	5
1.Εισαγωγή	7
2. <i>S. aureus</i>	11
2.1 Γενικά χαρακτηριστικά του <i>S. aureus</i>	11
2.2 Επιδημιολογική σημασία	11
2.3 Μορφολογία και Παθογένεια του <i>S. aureus</i>	13
2.3.1 Βασική βιολογία και χαρακτηριστικά του βακτηρίου.....	13
2.3.2 Μηχανισμοί τοξικότητας.....	15
2.3.3 Ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά (MRSA).....	19
3.Ο ρόλος του <i>S. aureus</i> στην επιμόλυνση τροφίμων	21
3.1 Σχέση με την ασφάλεια των τροφίμων	21
3.2 Κύριες πηγές μόλυνσης	23
3.3 Νομοθεσία	26
3.4 Επιπτώσεις στην υγεία από τροφιμογενείς λοιμώξεις.....	28
4.Ανασκόπηση Νεότερων Δεδομένων.....	34
4.1 Επικαιροποιημένα στοιχεία για τη συχνότητα εμφάνισης του <i>S. aureus</i> σε τρόφιμα	34
4.2 Νέες τεχνικές ανίχνευσης και ταυτοποίησης	36
5.Μελέτες Περιπτώσεων.....	42
5.1 Παρουσίαση πραγματικών περιστατικών τροφιμογενών λοιμώξεων	42
5.2 Ανάλυση αιτιών μόλυνσης σε συγκεκριμένα τρόφιμα	46
6.Μέτρα Ελέγχου και Διαχείρισης Κινδύνων	48
6.1 Καλή υγιεινή κατά τον χειρισμό τροφίμων	48
6.2 Αξιολόγηση και έλεγχος σωστής αποθήκευσης.....	49
6.3 Ανίχνευση και εποπτεία μικροοργανισμών	50
6.4 Εκπαίδευση και ενημέρωση του προσωπικού	50
7.Συμπεράσματα και Μελλοντικές Προοπτικές.....	52
7.1 Συνοπτική επισκόπηση ευρημάτων.....	52
7.2 Ανάγκες για περαιτέρω έρευνα	52
7.3 Μελλοντικές στρατηγικές ενίσχυσης της ασφάλειας των τροφίμων.....	53
8.Βιβλιογραφία.....	56

1. Εισαγωγή

Η παρούσα μελέτη διαρθρώνεται σε ενότητες στις οποίες αναδεικνύεται ο *S. aureus* και η σημασία για την ασφάλεια των τροφίμων, ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται η ανασκόπηση νεότερων δεδομένων και μελέτη περιπτώσεων.

Στην 1^η ενότητα γίνεται εισαγωγική περιγραφή του θέματος, με ανάλυση όλων όσων εμπεριέχονται ανά ενότητα, το ερευνητικό πρόβλημα και η ερευνητική προσέγγιση, ενώ παράλληλα γίνεται σύντομη περιγραφή της βιβλιογραφίας. Η ενότητα αυτή περιλαμβάνει ακόμη στοιχεία που αναδεικνύουν τη σημασία και τον σκοπό της μελέτης.

Στην 2^η ενότητα δίνονται όλες οι πληροφορίες που σχετίζονται με τον *S. aureus*, ως προς τα χαρακτηριστικά του, την επιδημιολογική σημασία, τη μορφολογία και την παθογένεια του, εστιάζοντας στη βασική βιολογία, στους μηχανισμούς τοξικότητας και στην ανθεκτικότητα του στα αντιβιοτικά (MRSA).

Στην 3^η ενότητα γίνεται περιγραφή ως προς τον ρόλο του *S. aureus* στην επιμόλυνση των τροφίμων. Ειδικότερα, καταγράφεται η σχέση του με την ασφάλεια των τροφίμων, οι κύριες πηγές μόλυνσης, το νομοθετικό πλαίσιο, τα τρόφιμα υψηλού κινδύνου και οι επιδράσεις στην υγεία του ανθρώπου από τροφιμογενείς λοιμώξεις.

Στην 4^η ενότητα γίνεται ανασκόπηση νεότερων δεδομένων ως προς τα επικαιροποιημένα στοιχεία για τη συχνότητα εμφάνισης του *S. aureus* σε τρόφιμα, τις νέες τεχνικές ανίχνευσης και ταυτοποίησης και τις εξελίξεις στη γενετική έρευνα (ανθεκτικά στελέχη, γονίδια παθογένειας).

Στην 5^η ενότητα παρουσιάζονται μελέτες περιπτώσεων πραγματικών περιστατικών τροφιμογενών λοιμώξεων, αναλύονται τα αίτια μόλυνσης σε συγκεκριμένα τρόφιμα και παρατίθενται τρόποι αντιμετώπισης και μέτρα ελέγχου στις μελέτες.

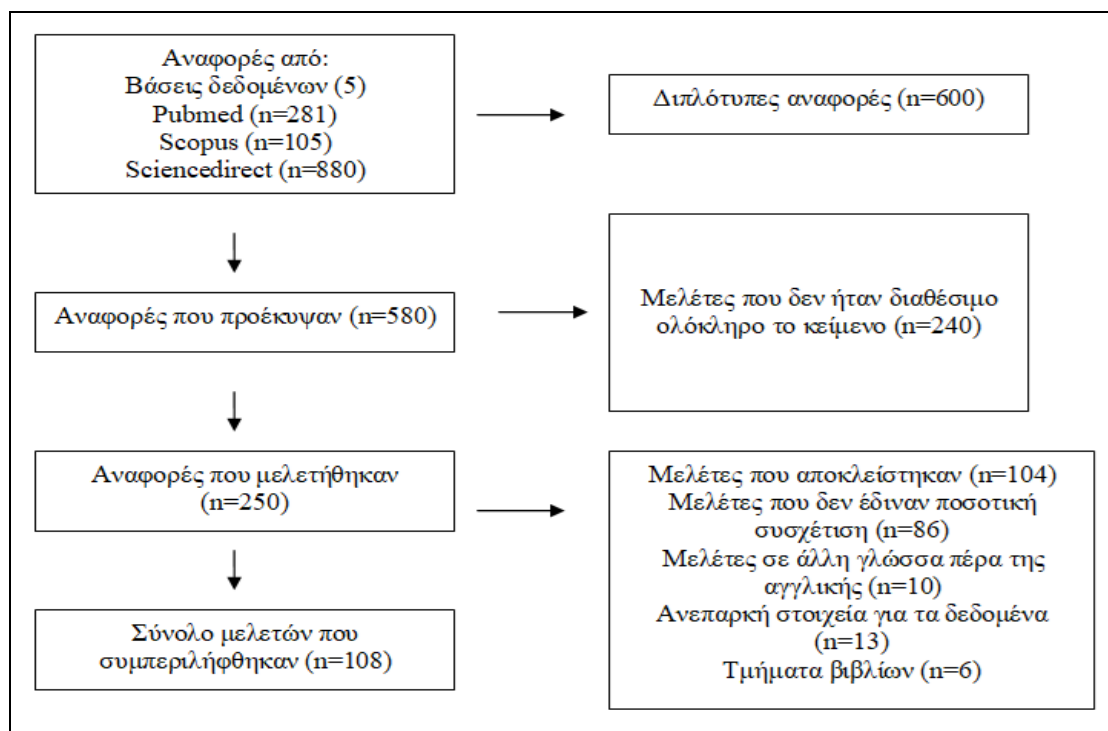
Στην 6^η ενότητα γίνεται λόγος για τα μέτρα ελέγχου και διαχείρισης κινδύνων, την πρόληψη επιμόλυνσης στη βιομηχανία τροφίμων, τις κατευθυντήριες γραμμές για την ασφάλεια τροφίμων και τις τεχνολογίες απολύμανσης και συσκευασίας.

Στην 7^η ενότητα γίνεται συνοπτική επισκόπηση ευρημάτων, προσδιορίζονται οι λόγοι για περαιτέρω έρευνα και οι στρατηγικές ενίσχυσης της ασφάλειας των τροφίμων.

Το ερευνητικό πρόβλημα της μελέτης επικεντρώνεται στη διερεύνηση της σύνδεσης του *S. aureus* με την ασφάλεια των τροφίμων, εστιάζοντας στη μικροβιακή αντοχή, τους μηχανισμούς μόλυνσης και τη διαχείριση του βακτηρίου στις αλυσίδες τροφίμων. Το βακτήριο αποτελεί σημαντικό παράγοντα τροφιμογενών ασθενειών λόγω της παρουσίας του σε ανθρώπους, ζώα, περιβαλλοντικά μέσα (νερό, έδαφος, επιφάνειες) και την ικανότητά του να παράγει θερμοανθεκτικές εντεροτοξίνες. Το πρόβλημα επιτείνεται από την αυξανόμενη αντοχή του *S. aureus* σε αντιβιοτικά και την περιορισμένη εφαρμογή διαγνωστικών και προληπτικών στρατηγικών, γεγονός που αυξάνει τους κινδύνους για τη δημόσια υγεία και την ποιότητα των τροφίμων.

Η ερευνητική προσέγγιση της μελέτης βασίζεται στην ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και των επιστημονικών δεδομένων. Για την εκπόνησή της, χρησιμοποιήθηκαν πηγές από έγκυρες βάσεις δεδομένων, όπως PubMed, Google Scholar, Scopus και Science Direct με λέξεις κλειδιά όπως *S. aureus*, foods, public health προκειμένου να αναλυθούν άρθρα που δημοσιεύθηκαν την τελευταία δεκαετία (2012–2022), σύμφωνα με το διάγραμμα 1. Η προσέγγιση περιλαμβάνει τη συγκέντρωση και αξιολόγηση δεδομένων σχετικά με την παρουσία, την ανθεκτικότητα, τους μηχανισμούς μόλυνσης και την ανίχνευση του *S. aureus* σε τρόφιμα, καθώς και την επίδρασή του στην ασφάλεια των τροφίμων και τη δημόσια υγεία. Μέσα από τη συνδυαστική ανάλυση των αποτελεσμάτων προηγούμενων μελετών και τη σύγκρισή τους, επιχειρείται η εξαγωγή συμπερασμάτων και προτάσεων για τη βελτίωση της ασφάλειας των τροφίμων και τη διαχείριση των κινδύνων που σχετίζονται με το βακτήριο.

Διάγραμμα 1: Μελέτες ανασκόπησης



Η βιβλιογραφία αναδεικνύει τη σημασία του *S. aureus* ως παθογόνου μικροοργανισμού που επηρεάζει την ασφάλεια των τροφίμων και τη δημόσια υγεία. Η έρευνα των Paiva et al. (2021) υπογραμμίζει την παγκόσμια σημασία των τροφιογενών ασθενειών (Foodborne Diseases, FBD), οι οποίες επηρεάζουν εκατομμύρια ανθρώπους ετησίως. Ο *S. aureus* είναι ένας από τους κύριους παράγοντες αυτών των ασθενειών, κυρίως λόγω της ικανότητάς του να παράγει σταφυλοκοκκικές εντεροτοξίνες (SEs) που είναι ανθεκτικές στις υψηλές θερμοκρασίες, διατηρώντας τη δραστηριότητά τους ακόμη και μετά από θερμική επεξεργασία και μολύνουν διάφορες κατηγορίες τροφίμων, όπως γάλα και γαλακτοκομικά προϊόντα, προϊόντα κρέατος και άλλα ευπαθή τρόφιμα.

Η ανασκόπηση των Thaha et al. (2024) αναδεικνύει την ιδιαίτερη σημασία του *S. aureus* και των ανθεκτικών στελεχών του (MRSA) σε παγκόσμιο επίπεδο, με έμφαση στη συχνότητα εμφάνισης τους στην Ινδονησία. Παρέχει πληροφορίες σχετικά με την προσέγγιση One Health για την πρόληψη και τον έλεγχο της μόλυνσης των αυγών από *S. aureus* στην Ινδονησία. Η συγκριτική ανάλυση με άλλες χώρες επιτρέπει την αξιολόγηση των ιδιαίτερων συνθηκών που επικρατούν στην Ινδονησία και την εξαγωγή πολύτιμων συμπερασμάτων για την παγκόσμια διαχείριση της μόλυνσης από τον *S. aureus*.

Η ανασκόπηση και μετα-ανάλυση των Leguillier et al. (2024) παρέχει μια συνολική εικόνα του επιπολασμού του *S. aureus* σε διάφορες πηγές τροφίμων, εστιάζοντας στη μικροβιακή αντοχή, τις οδούς μόλυνσης και τις στρατηγικές ελέγχου, εστιάζοντας σε δεδομένα από το 2012 έως το 2022. Το βακτήριο εντοπίζεται συχνότερα σε έτοιμα προς κατανάλωση τρόφιμα (35,1%), στο κρέας (21,7%) και στα γαλακτοκομικά προϊόντα (18,5%), με τα προϊόντα κρέατος να αντιπροσωπεύουν το 59,51% των μολυσμένων προϊόντων. Οι πηγές μόλυνσης περιλαμβάνουν τον άνθρωπο, τα ζώα, το νερό, το

έδαφος και μολυσμένες επιφάνειες, με πολλαπλές οδούς μετάδοσης. Η ανθεκτικότητα στις πενικιλίνες είναι η πιο συχνή (61%), ενώ το 68% των απομονώσεων έδειξαν ανθεκτικότητα σε τουλάχιστον ένα αντιβιοτικό. Η μελέτη επισημαίνει την ανάγκη για συνεχή έρευνα στη μικροβιακή αντοχή, τον σχηματισμό βιοφίλμ και το στρες που σχετίζεται με τρόφιμα, καθώς και για βελτιωμένα διαγνωστικά εργαλεία και προγράμματα επιτήρησης, προκειμένου να μειωθεί η επιβάρυνση από το βακτήριο στις αλυσίδες τροφίμων.

Γενικότερα, η ασφάλεια των τροφίμων αποτελεί έναν από τους βασικότερους πυλώνες της δημόσιας υγείας και της διατροφικής ασφάλειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Στο πλαίσιο αυτό, η μελέτη παθογόνων μικροοργανισμών που εμπλέκονται σε τροφιμογενείς ασθένειες είναι καίριας σημασίας. Ένας από τους πιο σημαντικούς και ευρέως μελετημένους παθογόνους μικροοργανισμούς είναι ο *S. aureus*, ένας ευκαιριακός παθογόνος οργανισμός που αποτελεί συχνή αιτία μολύνσεων τόσο στον άνθρωπο όσο και στα τρόφιμα. Ο *S. aureus* είναι γνωστός για την ικανότητά του να παράγει σταφυλοκοκκικές εντεροτοξίνες (SEs), οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές τροφιμογενείς δηλητηριάσεις. Παράλληλα, η ανθεκτικότητα αυτού του βακτηρίου σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, καθώς και η εμφάνιση στελεχών ανθεκτικών σε αντιβιοτικά (π.χ. MRSA), εντείνει την ανησυχία για την επίδρασή του στην υγεία του ανθρώπου και την ακεραιότητα των συστημάτων παραγωγής τροφίμων.

Ο σκοπός της μελέτης είναι να διερευνήσει τον ρόλο του *S. aureus* ως τροφιμογενούς παθογόνου και την επίδρασή του στην ασφάλεια των τροφίμων. Επιδιώκεται η κατανόηση της επιδημιολογίας του βακτηρίου, των μηχανισμών μόλυνσης και της ανθεκτικότητάς του στα αντιβιοτικά, καθώς και η αξιολόγηση των κινδύνων που σχετίζονται με τη μόλυνση τροφίμων. Μέσα από την ανασκόπηση νεότερων δεδομένων, η μελέτη αποσκοπεί στη διατύπωση προτάσεων για τη βελτίωση των μεθόδων ανίχνευσης και διαχείρισης, την προώθηση αποτελεσματικών στρατηγικών πρόληψης και ελέγχου, και τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας και της ποιότητας των τροφίμων.

2. *S. aureus*

2.1 Γενικά χαρακτηριστικά του *S. aureus*

Ο *S. aureus* είναι ένα θετικό κατά Gram, σφαιρικό βακτήριο (κόκκος) που ανήκει στην οικογένεια *Staphylococcaceae* (Kim et al., 2018; Wu et al., 2018). Πρόκειται για ένα προαιρετικά αναερόβιο μικροοργανισμό που σχηματίζει σταφυλοειδείς συσσωματώσεις όταν παρατηρείται μικροσκοπικά (Tong et al., 2015; Pal et al., 2019; Liu et al., 2024). Το βακτήριο είναι μη κινητό, δεν σχηματίζει σπόρους και μπορεί να αναπτυχθεί σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, από 7°C έως 48°C, με βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης τους 37°C (Kadariya et al., 2014). Είναι ανθεκτικό σε συνθήκες υψηλής αλατότητας (έως 15% NaCl) και σε ευρύ φάσμα pH, γεγονός που διευκολύνει την επιβίωσή του σε τρόφιμα (Abu-Ghazaleh, 2016).

Παράγει εντεροτοξίνες που συνδέονται με τροφιμογενείς ασθένειες (Le et al., 2021; Pal et al., 2022; Cieza et al., 2024). Αυτές οι τοξίνες είναι πρωτεΐνες ανθεκτικές στη θερμότητα και στις πρωτεάσες, με αποτέλεσμα να παραμένουν ενεργές ακόμα και μετά από διαδικασίες θερμικής επεξεργασίας τροφίμων. Η παραγωγή των τοξινών επηρεάζεται από περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, το pH και η δραστηριότητα του νερού (aw) (Grispoldi et al., 2021).

Είναι μέρος της φυσιολογικής μικροχλωρίδας των ανθρώπων και των ζώων, κυρίως στη ρινική κοιλότητα, στο δέρμα και στο γαστρεντερικό σύστημα (Sakr et al., 2018; Gehrke et al., 2023). Ωστόσο, μπορεί να προκαλέσει διάφορες λοιμώξεις, όπως πνευμονία, οστεομυελίτιδα, καθώς και απειλητικές για τη ζωή λοιμώξεις, όπως σήψη και μολυσματική ενδοκαρδίτιδα (Gordon et al., 2021).

Το βακτήριο είναι διαδεδομένο στις βιομηχανίες τροφίμων, καθώς μπορεί να μολύνει προϊόντα κατά την παραγωγή, επεξεργασία ή διανομή τους (Wang et al., 2017; Liang et al., 2023; Pérez-Boto et al., 2023; Thaha et al., 2024). Είναι υπεύθυνο για σημαντικό ποσοστό τροφιμογενών ασθενειών παγκοσμίως, ιδιαίτερα μέσω μολυσμένων προϊόντων όπως γαλακτοκομικά, κρέας και έτοιμα προς κατανάλωση τρόφιμα (Wu et al., 2018; Mekhloufi et al., 2021; Thwala et al., 2021; Liang et al., 2023; Foxcroft et al., 2024).

Ο *S. aureus* έχει αναπτύξει ανθεκτικότητα σε πολλά αντιβιοτικά, όπως οι πενικιλίνες, ενώ ορισμένα στελέχη, γνωστά ως MRSA (Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*), παρουσιάζουν ανθεκτικότητα και σε άλλα αντιβιοτικά ευρέως φάσματος (Abebe & Birhanu, 2023). Αυτή η αντοχή αποτελεί σοβαρή πρόκληση για τη δημόσια υγεία και την ασφάλεια των τροφίμων (Guo et al., 2020; Lade & Kim, 2021).

2.2 Επιδημιολογική σημασία

Η ευρεία εξάπλωση του βακτηρίου *S. aureus* και η ικανότητά του να παράγει θερμοανθεκτικές εντεροτοξίνες, καθώς και η ανθεκτικότητά του σε διάφορα αντιβιοτικά, το καθιστούν ιδιαίτερα επικίνδυνο για τη δημόσια υγεία (Dorjgochoo et al., 2023; Song et al., 2024). Μελέτες δείχνουν ότι τα τρόφιμα, όπως κρέας, γαλακτοκομικά προϊόντα που έχουν αναφερθεί και προηγουμένως, αποτελούν την κύρια πηγή μόλυνσης για τους καταναλωτές (Nyokabi et al., 2023).

Η επιδημιολογική σημασία του *S. aureus* δεν περιορίζεται σε μία γεωγραφική περιοχή. Μελέτες, όπως των Thaha et al. (2024), αναφέρουν υψηλά ποσοστά μόλυνσης σε χώρες όπως η Ινδονησία, όπου το βακτήριο συναντάται συχνά στα αυγά. Παρόμοια δεδομένα προκύπτουν και από την Ευρώπη και τις ΗΠΑ, όπου οι περιπτώσεις τροφιμογενών λοιμώξεων από *S. aureus* αποτελούν σημαντικό επιδημιολογικό πρόβλημα.

Σύμφωνα με τους Hindy et al. (2022), η επίπτωση της βακτηριαμίας από *S. aureus* κυμαίνεται από 9,3 έως 65 περιπτώσεις ανά 100.000 πληθυσμού ετησίως. Οι ασθενείς με *S. aureus* έχουν διάμεση ηλικία μεταξύ 62 και 72 ετών, ενώ τα περιστατικά είναι πιο συχνά στους άνδρες συγκριτικά με τις γυναίκες. Οι κύριες πηγές μόλυνσης περιλαμβάνουν ενδαγγειακούς καθετήρες, που σχετίζονται με νοσοκομειακές λοιμώξεις και λοιμώξεις του δέρματος και των μαλακών μορίων. Η επίπτωση του εμφανίζει σημαντική γεωγραφική μεταβλητότητα και διακυμάνσεις ανά ημερολογιακά έτη, γεγονός που υποδηλώνει την ανάγκη για τοπικές στρατηγικές ελέγχου και παρακολούθησης.

Οι Tong et al., (2015) και Gnanamani et al. (2017) υποστηρίζουν πως οι λοιμώξεις από *S. aureus* αποτελούν σημαντική ανησυχία για τη δημόσια υγεία, καθώς περίπου το 30% του πληθυσμού φιλοξενεί τα βακτήρια. Ο *S. aureus* αποικίζει πολλαπλά σωματικά όργανα και περιοχές, με κύριες εστίες την ανώτερη αναπνευστική οδό, το δέρμα, τα ρουθούνια, τις μασχάλες και τις βουβωνικές περιοχές. Η υψηλή αυτή συχνότητα αποικισμού αυξάνει τον κίνδυνο λοιμώξεων, καθιστώντας τον *S. aureus* ιδιαίτερα επικίνδυνο για ευπαθείς πληθυσμούς και δύσκολο στη διαχείριση λόγω της ικανότητάς του να προσαρμόζεται σε διαφορετικά περιβάλλοντα και ξενιστές.

Με βάση τις στατιστικές επιτήρησης του Συστήματος Επιτήρησης Αντιμικροβιακής Αντοχής της Κίνας από το 2019, ο *S. aureus* κατέχει το υψηλότερο ποσοστό ανίχνευσης μεταξύ των γραμμοθετικών παθογόνων βακτηρίων στη χώρα. Αυτή η υψηλή συχνότητα ανίχνευσης καταδεικνύει τη σημαντική παρουσία του *S. aureus* σε κλινικά δείγματα και την ανάγκη για ενίσχυση των στρατηγικών παρακολούθησης και ελέγχου της αντιμικροβιακής αντοχής, καθώς το βακτήριο είναι γνωστό για την ικανότητά του να αναπτύσσει ανθεκτικότητα σε διάφορα αντιβιοτικά, όπως η μεθικυλλίνη (MRSA) (Wang et al., 2022).

Οι μελέτες των Kayan et al., (2017) και Sharma et al., (2023) κατέληξαν στο γεγονός πως ορισμένες ομάδες ατόμων διατρέχουν σημαντικά υψηλότερο κίνδυνο για αποικισμό από *S. aureus*, με ποσοστά που φτάνουν έως και το 80%. Οι ομάδες αυτές περιλαμβάνουν εργαζόμενους στον τομέα της υγείας,

οι οποίοι είναι σε συνεχή επαφή με μολυσμένα άτομα, διαβητικούς, που έχουν εξασθενημένο ανοσοποιητικό σύστημα, άτομα με εξασθενημένο ανοσοποιητικό σύστημα, όπως οι ασθενείς με HIV ή άλλες ανοσοκατασταλτικές καταστάσεις, παιδιά και ηλικιωμένους, οι οποίοι μπορεί να είναι πιο ευάλωτοι σε λοιμώξεις, άτομα με μόνιμο καθετήρα ή χρόνιες μεταβολικές ασθένειες, που δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για τη μόλυνση, άτομα που έχουν μολυνθεί προηγουμένως με ανθεκτικό στη μεθικιλίνη *S. aureus* (MRSA), καθώς η προηγούμενη μόλυνση αυξάνει τον κίνδυνο ανασύνθεσης ή επανεμφάνισης της λοίμωξης. Αυτές οι ομάδες απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή και έγκαιρη διάγνωση, καθώς η παρουσία του *S. aureus*, ειδικά του ανθεκτικού στη μεθικιλίνη στελέχους, μπορεί να προκαλέσει σοβαρές λοιμώξεις και να δυσχεράνει τη θεραπεία.

Επιπλέον, οι Rasheed & Hussein (2021) εκτιμούν πως περίπου το 25-30% των υγιών ατόμων φέρει *S. aureus*, ενώ 15% του πληθυσμού αποτελεί επίμονο φορέα του βακτηρίου. Ορισμένες ομάδες πληθυσμού εμφανίζουν υψηλότερα ποσοστά αποικισμού, φτάνοντας έως το 80%. Αυτές περιλαμβάνουν εργαζομένους στον τομέα της υγείας, διαβητικούς, ασθενείς που λαμβάνουν ενδοφλέβια φαρμακευτική αγωγή, ανοσοκατεσταλμένα άτομα, χειρουργικούς ασθενείς, χρήστες μόνιμου καθετήρα, ασθενείς με αιμοκάθαρση, καθώς και άτομα με χρόνιες μεταβολικές ή δερματικές παθήσεις.

Η πρόσφατη επιδημιολογία του *S. aureus* έχει επικεντρωθεί στην αύξηση και διάδοση του ανθεκτικού στη MRSA, τόσο σε κλινικά περιβάλλοντα όσο και στον γενικό πληθυσμό. Η ανθεκτικότητα του MRSA στα κοινά αντιβιοτικά, όπως η μεθικιλίνη, καθιστά τον μικροοργανισμό ιδιαίτερα επικίνδυνο και δύσκολο να θεραπευτεί (Shoaib et al., 2023).

2.3 Μορφολογία και Παθογένεια του *S. aureus*

2.3.1 Βασική βιολογία και χαρακτηριστικά του βακτηρίου

Η βιολογία του *S. aureus* χαρακτηρίζεται από μια σειρά χαρακτηριστικών που το καθιστούν τόσο ευέλικτο όσο και επικίνδυνο. Εμφανίζει χαρακτηριστική χρυσή χρώση στην καλλιέργεια σε άγαρ, λόγω της παραγωγής χρωστικών ουσιών (κυρίως του καροτενοειδούς σταφυλοκοκκίνης), που προστατεύουν το βακτήριο από τις οξειδωτικές βλάβες (Rodriguez-Concepcion et al., 2018; Zhang et al., 2018; Saubenova et al., 2024).

Ο *S. aureus* είναι αναερόβιο και μπορεί να αναπνεύσει είτε σε αερόβιες συνθήκες είτε να αναπτυχθεί αναερόβια σε έλλειψη οξυγόνου (Ferreira et al., 2013; Choby & Skaar, 2019; Kaplan et al., 2024). Αυτή η ευχέρεια να αναπτύσσεται σε ποικιλία περιβαλλόντων το καθιστά ικανό να επιβιώσει σε διαφορετικά οικολογικά niches, όπως το ανθρώπινο δέρμα, το ανώτερο αναπνευστικό σύστημα, τα έντερα και διάφορους άλλους ιστούς (Gehrke et al., 2023). Παράγει το ένζυμο καταλάση, το οποίο διασπά το υπεροξείδιο του υδρογόνου, προστατεύοντας το βακτήριο από την τοξικότητά του. Ένα

άλλο χαρακτηριστικό του *S. aureus* είναι η παραγωγή κοαγουλάσης, ενός ενζύμου που πήζει το πλάσμα του αίματος και χρησιμοποιείται για τη διαγνωστική διάκριση του βακτηρίου από άλλους σταφυλόκοκκους. Παρουσιάζει την ικανότητα να αναπτύσσει αντοχή σε πληθώρα αντιβιοτικών, καθιστώντας τον σημαντικό παράγοντα κινδύνου για σοβαρές λοιμώξεις (Kakoullis et al., 2021). Ιδιαίτερα ανησυχητικό είναι το γεγονός ότι ορισμένα στελέχη του *S. aureus*, όπως τα MRSA, είναι ανθεκτικά σε πολλά β-λακταμικά αντιβιοτικά, περιλαμβανομένων των μεθικιλίνης και πενικιλίνης (Abebe & Birhanu, 2023).

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του *S. aureus* είναι η ικανότητά του να σχηματίζει βιοφίλμ, μια προστατευτική επιφάνεια που τον καθιστά ανθεκτικό σε αντιβιοτικά και σε καταναγκαστικά περιβάλλοντα. Το βιοφίλμ συμβάλλει επίσης στην μόλυνση ιατρικών συσκευών και καθετήρων (Nguyen et al., 2020).

Ο σχηματισμός βιοφίλμ από μικροοργανισμούς, όπως ο *S. aureus*, αποτελεί σοβαρό πρόβλημα στον τομέα της επεξεργασίας και παραγωγής τροφίμων (Petrova et al., 2012). Τα βιοφίλμ είναι δομές που σχηματίζονται από μικροοργανισμούς που προσκολλώνται σε επιφάνειες και παράγουν εξωκυτταρικές ουσίες, δημιουργώντας ένα προστατευτικό στρώμα (Krasowska & Sigler, 2014). Αυτές οι δομές προσφέρουν στους μικροοργανισμούς προστασία από δυσμενείς συνθήκες, καθιστώντας τους δύσκολο να απομακρυνθούν και ανθεκτικούς σε απολυμαντικά και αντιμικροβιακούς παράγοντες (Maikranz et al., 2020).

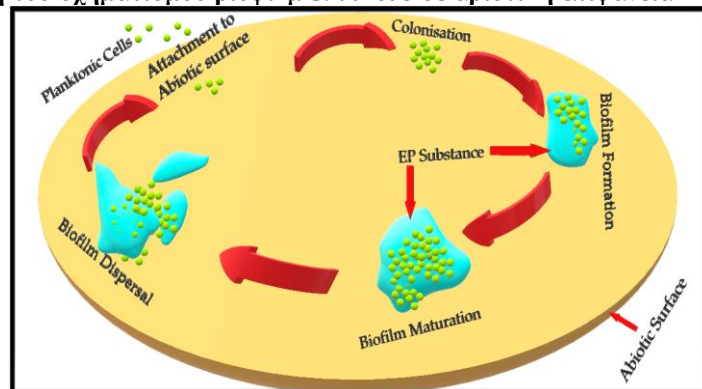
Ο σχηματισμός βιοφίλμ πραγματοποιείται σε διάφορα στάδια:

- Αρχική προσκόλληση: Τα βακτήρια, όπως ο *S. aureus*, προσκολλώνται σε επιφάνειες, όπως ανοξείδωτο χάλυβα, πλαστικά ή γυαλί, που συχνά χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων.
- Αύξηση προσκόλλησης: Τα βακτήρια πολλαπλασιάζονται και αρχίζουν να παράγουν εξωκυτταρικές πολυσακχαρίτες που ενισχύουν την προσκόλληση.
- Ωρίμανση βιοφίλμ: Σχηματίζεται μια σταθερή τρισδιάστατη δομή με μικροπεριβάλλοντα που προστατεύουν τους μικροοργανισμούς.
- Αποκόλληση: Τμήματα του βιοφίλμ μπορεί να αποκολληθούν, διασπείροντας βακτήρια και προκαλώντας μόλυνση άλλων επιφανειών ή τροφίμων (Maikranz et al., 2020).

Ορισμένοι παράγοντες μπορούν να διευκολύνουν τον σχηματισμό βιοφίλμ, όπως:

- Υγρασία: Υγρές και ακάθαρτες επιφάνειες ενισχύουν την ανάπτυξη βιοφίλμ.
- Θερμοκρασία: Η μέτρια θερμοκρασία συχνά ευνοεί την ανάπτυξη μικροοργανισμών.
- Τύπος υλικού: Τραχιές ή πορώδεις επιφάνειες παρέχουν μεγαλύτερες περιοχές πρόσφυσης.
- Παρουσία οργανικών υπολειμμάτων: Τα υπολείμματα τροφίμων μπορούν να λειτουργήσουν ως θρεπτικά συστατικά για τα βακτήρια (Krasowska & Sigler, 2014; Moormeier & Bayles, 2017; Idrees et al., 2021).

Εικόνα 1: Απεικόνιση του σχηματισμού βιοφίλμ *S. aureus* σε αβιοτική επιφάνεια



Πηγή: Idrees et al., (2021)

2.3.2 Μηχανισμοί παθογένειας

Ο *S. aureus* είναι ικανό να παράγει μια σειρά από τοξίνες, οι οποίες συμβάλλουν στην παθογένεια του και στην ικανότητά του να προκαλεί λοιμώξεις (Tam & Torres, 2018; Ahmad-Mansour et al., 2021). Με άλλα λόγια, οι τοξίνες που παράγονται από αυτόν τον μικροοργανισμό είναι οι βασικοί παράγοντες που ευθύνονται για την παθογένεια του (Tam & Torres, 2018). Οι μηχανισμοί τοξικότητας του *S. aureus* περιλαμβάνουν την παραγωγή τοξινών, τη δράση τους στους ιστούς και την ικανότητά τους να προκαλούν σοβαρές βλάβες (Su et al., 2020).

Ενδοτοξίνες

Οι ενδοτοξίνες είναι τοξικές ουσίες που παράγονται και εκκρίνονται από τα βακτήρια, και σε αντίθεση με τις εντεροτοξίνες, παραμένουν μέσα στο βακτήριο και απελευθερώνονται κυρίως κατά τη διάρκεια της αποδόμησης ή του θανάτου του βακτηρίου. Στην περίπτωση του *S. aureus*, οι ενδοτοξίνες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις λοιμώξεις που προκαλεί, ενώ είναι ιδιαίτερα υπεύθυνες για τη σοβαρότητα των ασθενειών που σχετίζονται με αυτό το βακτήριο (Wu et al., 2018).

Οι ενδοτοξίνες του *S. aureus* είναι κυρίως τοξίνες που προέρχονται από το κυτταρικό τοίχωμα του βακτηρίου, και είναι συνήθως λίπη ή λιποπολυσακχαρίδια (LPS) (Zhang et al., 2018), που βρίσκονται στο εξωτερικό μέρος της κυτταρικής μεμβράνης των Gram-αρνητικών βακτηρίων. Όμως, η έννοια των ενδοτοξινών σε Gram-θετικά βακτήρια συνδέεται κυρίως με τις πρωτεϊνικές τοξίνες (Sheehan et al., 2022). Οι ενδοτοξίνες μπορεί να παραμείνουν μέσα στο βακτήριο και να προκαλέσουν σοβαρές φλεγμονώδεις αντιδράσεις στον ξενιστή κατά τη διάρκεια της λοίμωξης (Poroff, 2024).

Ο μηχανισμός δράσης των ενδοτοξινών βασίζεται στην ενεργοποίηση του ανοσοποιητικού συστήματος. Κατά τη διάρκεια της μόλυνσης, όταν τα βακτήρια αποσυντίθενται ή καταστρέφονται, οι ενδοτοξίνες απελευθερώνονται και έρχονται σε επαφή με τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την υπερβολική απελευθέρωση φλεγμονωδών μεσολαβητών,

όπως οι κυτοκίνες, και την ενεργοποίηση της φλεγμονής σε ολόκληρο το σώμα. Η αντίδραση αυτή μπορεί να προκαλέσει σοβαρές καταστάσεις, όπως το σοκ από σήψη, που είναι μια απειλητική για τη ζωή κατάσταση (Sheehan et al., 2022).

Η ενδοτοξίνη, που αποτελεί το λιποπολυσακχαρίδιο (LPS) του εξωτερικού τοιχώματος των Gram-αρνητικών βακτηρίων, έχει σοβαρές επιδράσεις στον ανθρώπινο οργανισμό, οι οποίες ποικίλλουν ανάλογα με τη δόση και τη διάρκεια έκθεσης (Pfalzgraff & Weindl, 2019). Υψηλές δόσεις ενδοτοξίνης μπορούν να προκαλέσουν υπερβολική ενεργοποίηση του ανοσοποιητικού συστήματος μέσω υποδοχέων όπως οι TLR4, RAGE και κασπάσες, οδηγώντας σε καταιγίδα κυτοκινών, σηπτικό σοκ και πιθανό θάνατο. Παράλληλα, η δομή του λιπιδίου A, το οποίο αποτελεί το ενεργό μέρος της ενδοτοξίνης, επηρεάζει την ένταση της φλεγμονώδους απόκρισης. Σε χρόνιες χαμηλές δόσεις, η ενδοτοξίνη μπορεί να προκαλέσει φλεγμονή χαμηλής ποιότητας, που σχετίζεται με χρόνιες παθήσεις, ή να οδηγήσει σε ανοχή, μειώνοντας την ανοσολογική απόκριση. Επιπλέον, επάγει έμμεσες φλεγμονώδεις αντιδράσεις μέσω της παραγωγής κυτοκινών όπως οι TNFα, IL-6 και IL-1β, οι οποίες επηρεάζουν συστηματικά τον οργανισμό. Η κατανόηση αυτών των μηχανισμών είναι κρίσιμη για τη βελτίωση της πρόληψης και της θεραπείας λοιμώξεων και φλεγμονωδών καταστάσεων που σχετίζονται με την ενδοτοξίνη (Brown, 2019).

Εντεροτοξίνες

Οι εντεροτοξίνες είναι μια ομάδα τοξινών που παράγονται από το βακτήριο *S. aureus* και είναι υπεύθυνες για την πρόκληση τροφιμογενών ασθενειών (Fisher et al., 2018). Αυτές οι τοξίνες προκαλούν δηλητηρίαση από τρόφιμα και είναι ανθεκτικές στη θερμότητα, γεγονός που τις καθιστά ιδιαίτερα επικίνδυνες για την ασφάλεια των τροφίμων (Abebe et al., 2020). Η δράση τους στο ανθρώπινο σώμα είναι άμεση και προκαλεί συνήθως συμπτώματα όπως εμετό, διάρροια και κοιλιακό πόνο (Cieza et al., 2024).

Οι εντεροτοξίνες *S. aureus* αποτελούν σημαντική απειλή για την ασφάλεια των τροφίμων, καθώς έχει εντοπιστεί σε ευρύ φάσμα τροφίμων, κυρίως ζωικής προέλευσης (Johler et al., 2015). Συγκεκριμένα, έχουν αναφερθεί περιπτώσεις παρουσίας του σε τυριά, νωπό γάλα, μαγειρεμένο κρέας, πρόβριο γάλα, κοτόπουλο, καθώς και σε κονσέρβες κρέατος και τόνο (Suzuki et al., 2020). Επιπλέον, το βακτήριο ανιχνεύεται συχνά σε έτοιμα προς κατανάλωση τρόφιμα, όπως μπουλ με φαγητό, τηγανίτες, σπαγγέτι, κρέμες και σούσι. Ακόμη, εντοπίζεται σε δημητριακά, όπως το ρύζι, τα οποία συχνά καταναλώνονται χωρίς επαρκή θέρμανση (Zhao et al., 2023).

Η λοιμογόνος δράση του *S. aureus* βασίζεται στην παραγωγή μιας ευρείας ποικιλίας εντεροτοξινών, οι οποίες αποτελούν την κύρια αιτία κλινικών συνδρόμων και τροφιμογενών δηλητηριάσεων (Staphylococcal Food Poisoning, SFP) (Suzuki et al., 2020). Οι εντεροτοξίνες είναι εξωκυτταρικές πρωτεΐνες, ανθεκτικές στη θερμότητα, το κρύο και τα πρωτεολυτικά ένζυμα, γεγονός που τις καθιστά

ιδιαίτερα επίμονες σε διάφορες συνθήκες επεξεργασίας και συντήρησης τροφίμων. Αυτές οι τοξίνες μπορούν να προκαλέσουν εμετική και υπεραντιγόνο δράση στον ανθρώπινο οργανισμό μετά την κατανάλωση μολυσμένων τροφίμων, με τα συμπτώματα να εμφανίζονται συνήθως εντός 30 λεπτών έως 8 ωρών (Liu et al., 2022).

Περισσότερα από 24 γονίδια που σχετίζονται με εντεροτοξίνες έχουν εντοπιστεί σε εστίες τροφιμογενών λοιμώξεων (SFP), κλινικά περιστατικά και στελέχη που προέρχονται από ζώα. Οι πρώτες πέντε εντεροτοξίνες (SEA, SEB, SEC, SED και SEE) (Lefebvre et al., 2022), γνωστές ως «κλασικές», ευθύνονται κυρίως για περιστατικά SFP λόγω της ικανότητάς τους να προκαλούν έμετο (Benkerroum, 2017). Επιπλέον, έχουν ταυτοποιηθεί και άλλες εντεροτοξίνες (SEG-SEZ και οι λεγόμενες SEIs), που μπορούν να προκαλέσουν τροφιμογενείς λοιμώξεις ακόμα και όταν οι κλασικές εντεροτοξίνες δεν είναι παρούσες. Οι εντεροτοξίνες παρουσιάζουν ομοιότητες στη δομή, τη λειτουργία και τη γενετική αλληλουχία τους, γεγονός που διευκολύνει την εμφάνιση νέων εντεροτοξινών μέσω γενετικών ανασυνδυασμών (Umeda et al., 2017; Dicks et al., 2021).

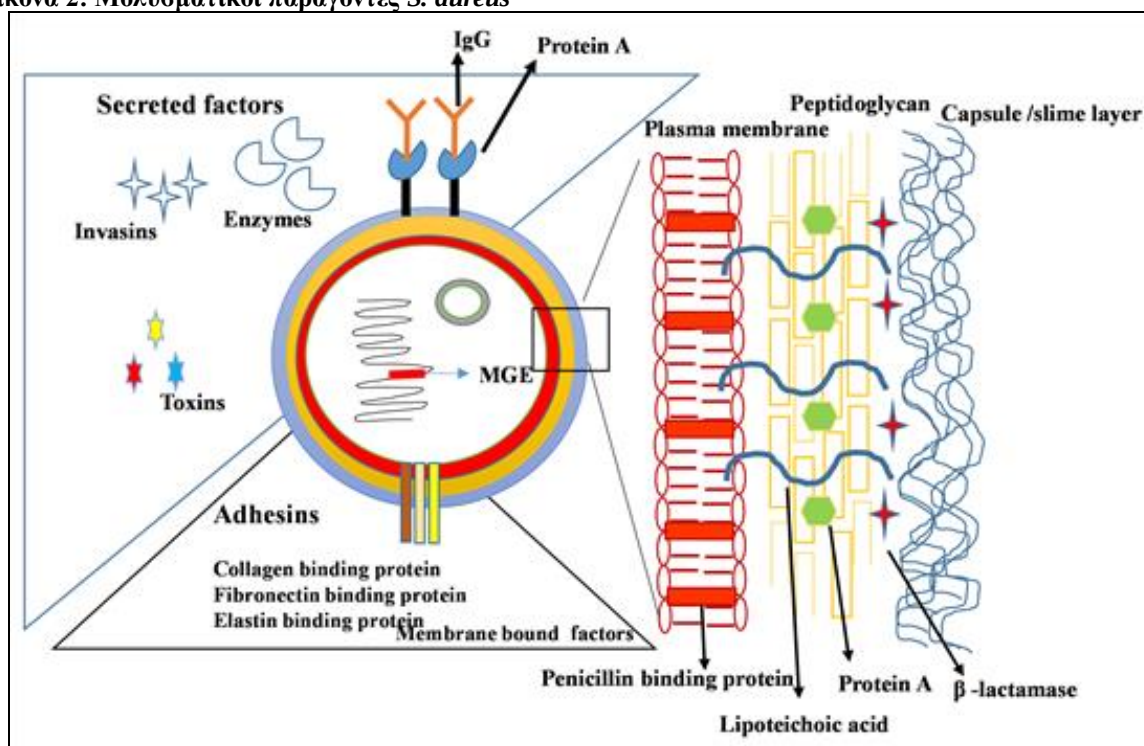
Άλφα-Βήτα Τοξίνες

Οι άλφα-βήτα τοξίνες είναι δύο σημαντικές εξωτοξίνες που παράγονται από το βακτήριο *S. aureus* και έχουν σημαντικό ρόλο στην τοξικότητα του βακτηρίου. Αυτές οι τοξίνες καταστρέφουν τα κυτταρικά τοιχώματα των ζωικών κυττάρων και συμβάλλουν στη φλεγμονώδη αντίδραση και την ανάπτυξη λοιμώξεων (Tran et al., 2022).

- *Άλφα Τοξίνη (α-τοξίνη)*: είναι μια από τις πιο γνωστές και ισχυρές τοξίνες που παράγονται από ο *S. aureus*. Πρόκειται για μια πρωτεΐνη που έχει την ικανότητα να σχηματίζει πόρους στη μεμβράνη των κυττάρων του ξενιστή. Δρα σχηματίζοντας μικρούς πόρους στην κυτταρική μεμβράνη, γεγονός που επιτρέπει τη διείσδυση διαφόρων μορίων (όπως ιόντων και πρωτεϊνών) και την ακατάλληλη μετακίνηση νερού και αλάτων. Αυτό οδηγεί σε οσμωτική ανισορροπία και τελικά σε κυτταρική λύση ή καταστροφή του κυττάρου. Η άλφα τοξίνη επηρεάζει κυρίως τα ερυθρά αιμοσφαίρια, τα λευκοκύτταρα, τα ενδοθηλιακά κύτταρα και τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος. Η δράση της άλφα τοξίνης μπορεί να προκαλέσει ηπατική και νεφρική βλάβη, φλεγμονή και αποδυνάμωση του ανοσοποιητικού συστήματος. Συνδέεται με διάφορες λοιμώξεις που προκαλούνται από *S. aureus*, όπως απόστημα, φλεγμονές και νοσοκομειακές λοιμώξεις, ενώ παίζει ρόλο και στη σοβαρότητα των πνευμονικών λοιμώξεων και των σοκ που σχετίζονται με βακτηριακές λοιμώξεις (Divyakolu et al., 2019).
- *Βήτα Τοξίνη (β-τοξίνη)*: Η βήτα τοξίνη (β-τοξίνη) είναι επίσης μια πρωτεΐνη που παράγεται από ο *S. aureus* και έχει σημαντικές επιπτώσεις στην κυτταρική βιολογία των ξενιστών. Δρα σε διαφορετικούς τύπους κυττάρων μέσω της διάλυσης των κυτταρικών μεμβρανών.

Ειδικότερα, η βήτα τοξίνη προκαλεί τη διάσπαση των κυτταρικών μεμβρανών μέσω της υδρολύσεως των σφιγγολινικών λιπιδίων, οι οποίες είναι βασικά συστατικά των κυτταρικών μεμβρανών των ανθρώπινων κυττάρων. Η βήτα τοξίνη συνδέεται με βλάβες στα αιμοσφαίρια, φλεγμονώδεις αντιδράσεις. Είναι σημαντική για την προώθηση της διάδοσης της λοίμωξης σε περιπτώσεις δερματικών ή άλλων περιοχών της μόλυνσης. Σε αντίθεση με την άλφα τοξίνη, η βήτα τοξίνη φαίνεται να έχει μια περιορισμένη δράση σε σχέση με την άμεση καταστροφή των κυττάρων, αλλά παίζει σημαντικό ρόλο στην εξάπλωση της λοίμωξης (Cogolludo et al., 2019; Tran et al., 2022).

Εικόνα 2: Μολυσματικοί παράγοντες *S. aureus*



Πηγή: Divyakolu et al., 2019

Εξωενζυμικές τοξίνες και πρωτεΐνες

Ο *S. aureus* παράγει πολλές εξωενζυμικές τοξίνες και πρωτεΐνες που διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στη δημιουργία λοιμώξεων και στην παθογένεια του. Αυτές οι τοξίνες και πρωτεΐνες βοηθούν το βακτήριο να επιβιώσει και να εξαπλωθεί στον ξενιστή, καθώς και να αποφύγει τις αμυντικές μηχανισμούς του ανοσοποιητικού συστήματος (Kusch & Engelmann, 2014; Tong et al., 2015; Tam &

Torres, 2018; Hu et al., 2021; Zhu et al., 2024). Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας των κύριων εξωτοξίνων που παράγει ο *S. aureus*.

Πίνακας 1: Οι κύριες εξωτοξίνες που παράγονται από ο *S. aureus*

Εξωτοξίνη(ες)	Γονίδιο(α)	Λειτουργίες
α-τοξίνη	hla	Τοξίνη που σχηματίζει πόρους
PVL (LukSF-PV)	lukS , lukF	Τοξίνη που σχηματίζει πόρους
HlgAB	hlgA , hlgB	Τοξίνη που σχηματίζει πόρους
HlgCB	hlgC , hlgB	Τοξίνη που σχηματίζει πόρους
LukED	lukE , lukD	Τοξίνη που σχηματίζει πόρους
LukAB/HG	lukA/H , lukB/G	Τοξίνη που σχηματίζει πόρους
LukMF'	lukM , lukF'	Τοξίνη που σχηματίζει πόρους
LukPQ	lukP , lukQ	Τοξίνη που σχηματίζει πόρους
PSMα1 έως PSMα4	psma1 έως psma 4	Μοντουλίνες διαλυτές σε φαινόλη
PSMβ1, PSMβ2	psmβ1 , psmβ2	Μοντουλίνες διαλυτές σε φαινόλη
δ-Τοξίνη	hld	Μοντουλίνες διαλυτές σε φαινόλη
PSM-mec	psm-mec	Μοντουλίνες διαλυτές σε φαινόλη
ε-Τοξίνη	cytE	Κυτοτοξίνη
SE-I H έως SE-I Y	selh to sely	Υπεραντιγόνα T κυττάρων
TSST-1	tst	Υπεραντιγόνο T κυττάρων
Ιαματική πηγή	ιαματική πηγή	Υπεραντιγόνο B κυττάρων
β-τοξίνη	hlb	Σφιγγομυελινάση, λιγκάση βιοφίλμ
Απολεπιστική τοξίνη A	και	Πρωτεάση σερίνης
Απολεπιστική τοξίνη B	etb	Πρωτεάση σερίνης

Πηγή: Tam & Torres, (2018)

2.3.3 Ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά (MRSA)

Ο *S. aureus* αποτελεί μία από τις πιο επικίνδυνες αιτίες βακτηριακών λοιμώξεων παγκοσμίως, λόγω της ικανότητάς του να αναπτύσσει ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά. Η εμφάνιση στελεχών ανθεκτικών στη MRSA έχει ενισχύσει τη σημασία αυτού του παθογόνου για τη δημόσια υγεία, καθιστώντας το ιδιαίτερα δύσκολο στη θεραπεία (Kakoullis et al., 2021).

Ο *S. aureus* αποτελεί ένα από τα πιο επικίνδυνα παθογόνα λόγω της ικανότητάς του να αναπτύσσει αντοχή σε σχεδόν όλα τα αντιβιοτικά που έχουν χρησιμοποιηθεί εναντίον του. Από την πρώτη αναφορά της αντίστασης στην πενικιλίνη τη δεκαετία του 1940, ο *S. aureus* έχει εξελίξει μηχανισμούς αντοχής, καθιστώντας τον ανθεκτικό σε β-λακτάμες, τετρακυκλίνες, αμινογλυκοσίδες, φθοριοκινολόνες, κλινδαμυκίνη, τριμεθοπρίμη-σουλφαμεθοξαζόλη, καθώς και σε κρίσιμης σημασίας αντιβιοτικά όπως η βανκομυκίνη, η δαπτομυκίνη και η λινεζολίδα (Foster, 2017), που φαίνονται στον πίνακα 2.

Το ανθεκτικό στη μεθικυλλίνη *S. aureus* (MRSA) είναι το πλέον ανθεκτικό στέλεχος και αποτελεί σοβαρή απειλή για τη δημόσια υγεία. Μόνο στην ΕΕ το 2015, εκτιμήθηκε ότι το MRSA προκάλεσε

περισσότερες από 148.000 λοιμώξεις και οδήγησε σε 7.000 θανάτους (Cassini et al., 2019; Kakoullis et al., 2021).

Πίνακας 2: Σύνοψη των μηχανισμών αντοχής στα αντιβιοτικά σε σημαντικά θετικά κατά Gram βακτήρια

Κατηγορία αντιβιοτικών	<i>S. aureus</i>	<i>Enterococcus</i> spp.
πενικιλίνες	Πενικιλινάση, παραγωγή PBP2a	PBP χαμηλής συγγένειας
Κεφαλοσπορίνες 1ης γενιάς.	PBP2a	PBP χαμηλής συγγένειας
Κεφαλοσπορίνες 2ης γενιάς.	PBP2a	PBP χαμηλής συγγένειας
Κεφαλοσπορίνες 3ης γενιάς.	PBP2a	PBP χαμηλής συγγένειας
Κεφαλοσπορίνες 4ης γενιάς.	PBP2a	PBP χαμηλής συγγένειας
αναστολείς β-λακταμάσης	PBP2a	
Καρβαπενέμες	Ανάπτυξη του PBP2a	PBP χαμηλής συγγένειας
Τετρακυκλίνες	Ριβοσωμική μεθυλίωση θέσεων δέσμευσης, αντλίες εκροής	Ριβοσωμική μεθυλίωση θέσεων δέσμευσης, αντλίες εκροής
Τιγκεκυκλίνες	Αντλίες εκροής	Ριβοσωμική μεθυλίωση θέσεων δέσμευσης, αντλίες εκροής
Μακρολίδες και κλινδαμυκίνη	Ριβοσωμική μεθυλίωση θέσεων δέσμευσης, αντλίες εκροής	Αντλίες εκροής, ένζυμα αδρανοποίησης κλινδαμυκίνης
Φθοροκινολόνες	Μεταλλάξεις στην τοποϊσομεράση IV και DNA γυράση, αντλίες εκροής	Μεταλλάξεις σε τοποϊσομεράση IV και DNA γυράση, παραγωγή πρωτεϊνών προστασίας
ΡΙφαμπικίνη	Μεταλλάξεις στο γονίδιο RNA πολυμεράσης	Μεταλλάξεις στο γονίδιο RNA πολυμεράσης
TMP/SMX	Μεταλλάξεις σε DHPS και DHFR	Απορρόφηση φυλλικού οξέος από το περιβάλλον
Αμινογλυκοσίδες	Ένζυμα αποικοδόμησης αμινογλυκοσιδίων	Ένζυμα αποικοδόμησης αμινογλυκοσιδίων, ριβοσωματικές μεταλλάξεις
Δαπτομυκίνη	Ηλεκτροστατική απόθεση μέσω αύξησης στο φορτίο επιφάνειας κυψέλης	Ε κόπρανα : ηλεκτροστατική απόθεση μέσω αύξησης στο φορτίο επιφάνειας κυψέλης. E. faecalis : ανακατανομή της καρδιολιπίνης μακριά από το επίπεδο του διαφράγματος
Βανκομυκίνη	VRSA: αλλαγμένη δομή προδρόμων πεπτιδογλυκάνης από D-Ala-D-Ala σε D-Ala-D-Lac. VISA: αυξημένη παραγωγή πεπτιδογλυκάνης, παχύτερο κυτταρικό τοίχωμα, δόλωμα διπεπτίδια D-Ala-D-Ala στην κυτταρική επιφάνεια	Τροποποιημένη δομή των προδρόμων πεπτιδογλυκανών από D-Ala-D-Ala σε D-Ala-D-Lac
Linezolid	Μεταλλάξεις στο 23S rRNA, αλλαγή των απαιτούμενων τροποποιήσεων στο 23S rRNA, μεταλλάξεις στη ριβοσωμική πρωτεΐνη L3 50S	Μεταλλάξεις στο 23S rRNA

Πηγή: Kakoullis et al., 2021

Κατηγορίες MRSA

- Νοσοκομειακός MRSA (Hospital-Acquired MRSA - HA-MRSA): Συνδέεται με λοιμώξεις σε ασθενείς που νοσηλεύονται, συχνά μέσω ενδαγγειακών καθετήρων, χειρουργικών τραυμάτων ή

ανοιχτών πληγών. Χαρακτηρίζεται από εκτεταμένη ανθεκτικότητα σε πολλαπλά αντιβιοτικά, συμπεριλαμβανομένων των γλυκοπεπτιδίων (Tsouklidis et al., 2020).

- Ζωονοσογόνος MRSA (Livestock-Associated MRSA - LA-MRSA): Απαντάται σε ζώα και σχετίζεται με επαγγελματίες που εργάζονται με κτηνοτροφικά προϊόντα. Είναι πιθανή πηγή μεταφοράς ανθεκτικών στελεχών στον ανθρώπινο πληθυσμό (Anjum et al., 2019).

3. Ο ρόλος του *S. aureus* στην επιμόλυνση τροφίμων

3.1 Σχέση με την ασφάλεια των τροφίμων

Η ασφάλεια των τροφίμων αποτελεί βασικό πυλώνα της δημόσιας υγείας, καθώς διασφαλίζει ότι τα τρόφιμα είναι απαλλαγμένα από βιολογικούς, χημικούς και φυσικούς κινδύνους που μπορούν να επηρεάσουν την υγεία των καταναλωτών (Thiran et al., 2018). Η αποτυχία στην προστασία της ασφάλειας των τροφίμων μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές συνέπειες για την υγεία, με οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις, αυξάνοντας το κόστος της υγειονομικής περίθαλψης και μειώνοντας την ποιότητα ζωής (Putri & Susanna, 2021).

Η κατανάλωση μολυσμένων τροφίμων είναι παγκοσμίως ένας από τους πιο σημαντικούς κινδύνους για τη δημόσια υγεία, με συντριπτικές συνέπειες για τις ευάλωτες πληθυσμιακές ομάδες και τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης. Περίπου 600 εκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως αρρωσταίνουν κάθε χρόνο λόγω μολυσμένων τροφίμων. Από αυτούς, 549 εκατομμύρια υποφέρουν από διαρροϊκές ασθένειες, συχνά προκαλούμενες από διάφορα βακτήρια. Κάθε χρόνο, 420.000 άνθρωποι πεθαίνουν από τροφιμογενείς ασθένειες, με τα παιδιά κάτω των 5 ετών να αντιπροσωπεύουν το 30% των θανάτων αυτών (Urmí et al., 2021).

Ο ακατάλληλος χειρισμός των τροφίμων από τους εργαζόμενους στην παραγωγή, αποθήκευση και σερβίρισμα αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που συμβάλλουν στη μόλυνση των τροφίμων και στην εμφάνιση τροφιμογενών ασθενειών. Τα λάθη στις πρακτικές υγιεινής ή στις διαδικασίες διαχείρισης μπορούν να οδηγήσουν στην ανάπτυξη παθογόνων οργανισμών, όπως *Salmonella*, *Escherichia coli* (*E. coli*) και *S. aureus* (Chen et al., 2020).

Ο *S. aureus* είναι ένα από τα πιο κοινά παθογόνα που σχετίζονται με την ασφάλεια των τροφίμων και μπορεί να προκαλέσει σοβαρές περιπτώσεις τροφικών δηλητηριάσεων. Η παρουσία του στα τρόφιμα συνδέεται κυρίως με την παραγωγή τοξινών που είναι ανθεκτικές στη θερμική επεξεργασία και μπορούν να προκαλέσουν ασθένεια ακόμα και όταν το βακτήριο έχει καταστραφεί. Με άλλα λόγια, η τροφική δηλητηρίαση από *S. aureus* είναι μια κοινή τροφογενής διαταραχή που επηρεάζει τους ανθρώπους παγκοσμίως, που προκαλείται κυρίως από την κατανάλωση εντεροτοξιγονικών στελεχών θετικών στην κοαγουλάση σταφυλόκοκκων που ονομάζονται σταφυλοκοκκικές εντεροτοξίνες (SEs) (Pal et al., 2022).

Έχει εξαιρετική ανθεκτικότητα σε περιβάλλοντα με χαμηλή υγρασία, γεγονός που του επιτρέπει να επιβιώνει σε επιφάνειες και εξοπλισμό τροφίμων για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Αυτός ο μηχανισμός επιβίωσης τον καθιστά επικίνδυνο σε περιβάλλοντα επεξεργασίας τροφίμων, όπου οι ξηρές επιφάνειες δεν απολυμαίνονται σωστά. Έτσι, επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα και την ασφάλεια των τροφίμων, ιδιαίτερα μέσω της ικανότητάς του να σχηματίζει βιομεμβράνες (biofilms) σε διάφορα περιβάλλοντα επεξεργασίας τροφίμων. Οι βιομεμβράνες προσφέρουν στο βακτήριο αυξημένη ανθεκτικότητα σε καθαριστικά, αντιμικροβιακές ουσίες και άλλες διαδικασίες απολύμανσης, καθιστώντας τον έλεγχο και την εξάλειψή του δύσκολο (Ballah et al., 2022).

3.2 Κύριες πηγές μόλυνσης

Οι κύριες πηγές μόλυνσης του *S. aureus* στα τρόφιμα περιλαμβάνουν διάφορους παράγοντες και διαδικασίες κατά την παραγωγή, την αποθήκευση και το σερβίρισμα των τροφίμων (Kadariya et al., 2014). Ο *S. aureus* είναι ένα κοινό βακτήριο που βρίσκεται φυσικά στο περιβάλλον, αλλά μπορεί να μεταφερθεί και σε τρόφιμα μέσω ανθρώπινων ή περιβαλλοντικών παραγόντων (Liang et al., 2023; Pérez-Boto et al., 2023).

Από άνθρωπο σε άνθρωπο

Οι κύριες πηγές μόλυνσης από άνθρωπο σε άνθρωπο είναι ποικίλες και σχετίζονται με την άμεση ή έμμεση επαφή μεταξύ ανθρώπων ή μέσω μολυσμένων επιφανειών και αντικειμένων. Η άμεση φυσική επαφή, όπως το χειροκρότημα, οι αγκαλιές ή άλλες μορφές σωματικής επαφής, είναι ένας συχνός τρόπος μετάδοσης των μικροοργανισμών. Ο *S. aureus* μπορεί να μεταδοθεί από μολυσμένα άτομα σε υγιή μέσω της επαφής με την επιδερμίδα ή βλεννογόνους. Ειδικά αν υπάρχει ανοιχτή πληγή ή μόλυνση στο δέρμα, ο μικροοργανισμός μπορεί να εισέλθει στον οργανισμό του άλλου ατόμου (Linz et al., 2023).

Μικροοργανισμοί, όπως ο *S. aureus* μπορούν να μεταδοθούν μέσω του αέρα όταν ένα μολυσμένο άτομο βήχει, φτερνίζεται ή ακόμη και μιλάει (Song et al., 2024). Τα σταγονίδια που εκτοξεύονται κατά τη διάρκεια αυτών των ενεργειών μπορεί να περιέχουν βακτήρια και να εισέλθουν στον αναπνευστικό σωλήνα του υγιούς ατόμου, προκαλώντας μόλυνση. Ο *S. aureus* και άλλοι μικροοργανισμοί μπορεί να επιβιώσουν σε διάφορες επιφάνειες, όπως πόμολα, καθίσματα, κινητά τηλέφωνα ή παιχνίδια (Hikmah et al., 2020). Όταν ένα άτομο αγγίζει μια μολυσμένη επιφάνεια και στη συνέχεια αγγίζει το πρόσωπό του, τα μάτια ή το στόμα του, μπορεί να εισέλθει στον οργανισμό του και να προκαλέσει λοίμωξη (Mzee et al., 2023).

Η χρήση κοινών αντικειμένων προσωπικής υγιεινής, όπως πετσέτες, ξυραφάκια, οδοντόβουρτσες ή καλλυντικά, μπορεί να οδηγήσει σε μετάδοση του *S. aureus* μεταξύ ατόμων. Η επαφή με μολυσμένα αντικείμενα μπορεί να μεταφέρει τα βακτήρια από το ένα άτομο στο άλλο. Ειδικά σε δημόσιες τουαλέτες ή γυμναστήρια, η χρήση κοινών χώρων υγιεινής μπορεί να προκαλέσει μετάδοση του *S. aureus* μέσω μολυσμένων επιφανειών ή υγρών. Οι επιφάνειες που έρχονται σε άμεση επαφή με το δέρμα, όπως ντους ή πάγκοι, αν δεν καθαρίζονται σωστά, ενδέχεται να φιλοξενούν μικροοργανισμούς που μπορούν να μεταδοθούν στους χρήστες (Hikmah et al., 2020). Η αποφυγή της μετάδοσης μικροοργανισμών από άνθρωπο σε άνθρωπο απαιτεί την τήρηση βασικών κανόνων υγιεινής, όπως το συχνό πλύσιμο των χεριών, η αποφυγή της επαφής με μολυσμένα άτομα, η τακτική απολύμανση των κοινών επιφανειών και η σωστή χρήση προσωπικών αντικειμένων (Linz et al., 2023).

Περιβαλλοντικές πηγές μόλυνσης

Οι περιβαλλοντικές πηγές μόλυνσης είναι εκείνες οι πηγές που επιτρέπουν την είσοδο παθογόνων μικροοργανισμών, όπως ο *S. aureus*, στα τρόφιμα και άλλους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, προκαλώντας επιμόλυνση ή τροφιμογενείς λοιμώξεις. Ο μικροοργανισμός μπορεί να προέρχεται από διάφορες περιβαλλοντικές πηγές και η μετάδοσή του συνήθως σχετίζεται με ακατάλληλες συνθήκες υγιεινής ή την επαφή με μολυσμένα υλικά και επιφάνειες (Pal et al., 2022).

Το νερό, αν δεν είναι κατάλληλα επεξεργασμένο και καθαρισμένο, μπορεί να φιλοξενήσει πολλούς μικροοργανισμούς, συμπεριλαμβανομένου του *S. aureus*, οι οποίοι μπορούν να μεταδοθούν στα τρόφιμα ή σε άλλες επιφάνειες μέσω επαφής. Η χρήση μολυσμένων νερών για το πλύσιμο των τροφίμων, τη συγκομιδή και την επεξεργασία τους, μπορεί να οδηγήσει στην επιμόλυνση των προϊόντων και στην εξάπλωση λοιμώξεων (Linz et al., 2023).

Ο αέρας σε ορισμένα περιβάλλοντα, όπως εργοστάσια τροφίμων, κουζίνες και αποθήκες, μπορεί να μεταφέρει μικροοργανισμούς. Τα βακτήρια, όπως ο *S. aureus*, μπορεί να αιωρούνται στον αέρα και να εισέλθουν στα τρόφιμα, ειδικά αν αυτά δεν είναι καλυμμένα ή δεν αποθηκεύονται σωστά. Ο κακός αερισμός και η αυξημένη υγρασία ενδέχεται να προάγουν την ανάπτυξή τους. Η αποθήκευση και διαχείριση απορριμμάτων ή βιολογικών αποβλήτων μπορεί να δημιουργήσει συνθήκες που προάγουν τη μόλυνση. Τα απορρίμματα τροφίμων και άλλα οργανικά υλικά που δεν απορρίπτονται σωστά ή που παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να αποτελέσουν πηγή μόλυνσης από παθογόνους μικροοργανισμούς. Αυτοί οι μικροοργανισμοί μπορούν να μεταδοθούν μέσω του αέρα ή της επαφής με τρόφιμα που βρίσκονται κοντά στους χώρους απόρριψης. Τα υλικά συσκευασίας που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ή τη μεταφορά τροφίμων, αν δεν είναι καθαρά ή απολυμασμένα, μπορούν να αποτελέσουν πηγή μόλυνσης από *S. aureus*. Ειδικά τα πλαστικά δοχεία, τα κουτιά και οι σακούλες, τα οποία επαναχρησιμοποιούνται χωρίς κατάλληλο καθαρισμό, μπορούν να μεταφέρουν μικροοργανισμούς στο εσωτερικό τους, που στη συνέχεια μεταδίδονται στα τρόφιμα (Pal et al., 2022).

Ζώα, συμπεριλαμβανομένων των πτηνών, των τρωκτικών και των εντόμων, μπορούν να είναι φορείς μικροοργανισμών και να μεταδώσουν τα βακτήρια στο περιβάλλον, μολύνοντας τρόφιμα, εργαλεία ή επιφάνειες. Αυτά τα ζώα μπορούν να μολύνουν τα τρόφιμα είτε με την άμεση επαφή τους είτε με την παρουσία των περιττωμάτων τους, που μπορεί να περιέχουν βακτήρια όπως ο *S. aureus* (Kadariya et al., 2014).

Οι κλιματολογικές συνθήκες, όπως η ζέστη, η υγρασία και οι βροχοπτώσεις, μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη και επιβίωση παθογόνων μικροοργανισμών στο περιβάλλον. Ο *S. aureus* είναι ανθεκτικός σε ξηρές συνθήκες, αλλά η υψηλή υγρασία και οι αυξημένες θερμοκρασίες μπορούν να διευκολύνουν την ανάπτυξή του, ειδικά σε χώρους όπου τα τρόφιμα δεν αποθηκεύονται ή επεξεργάζονται με σωστό τρόπο. Η κακή ή ανεπαρκής καθαριότητα σε χώρους επεξεργασίας

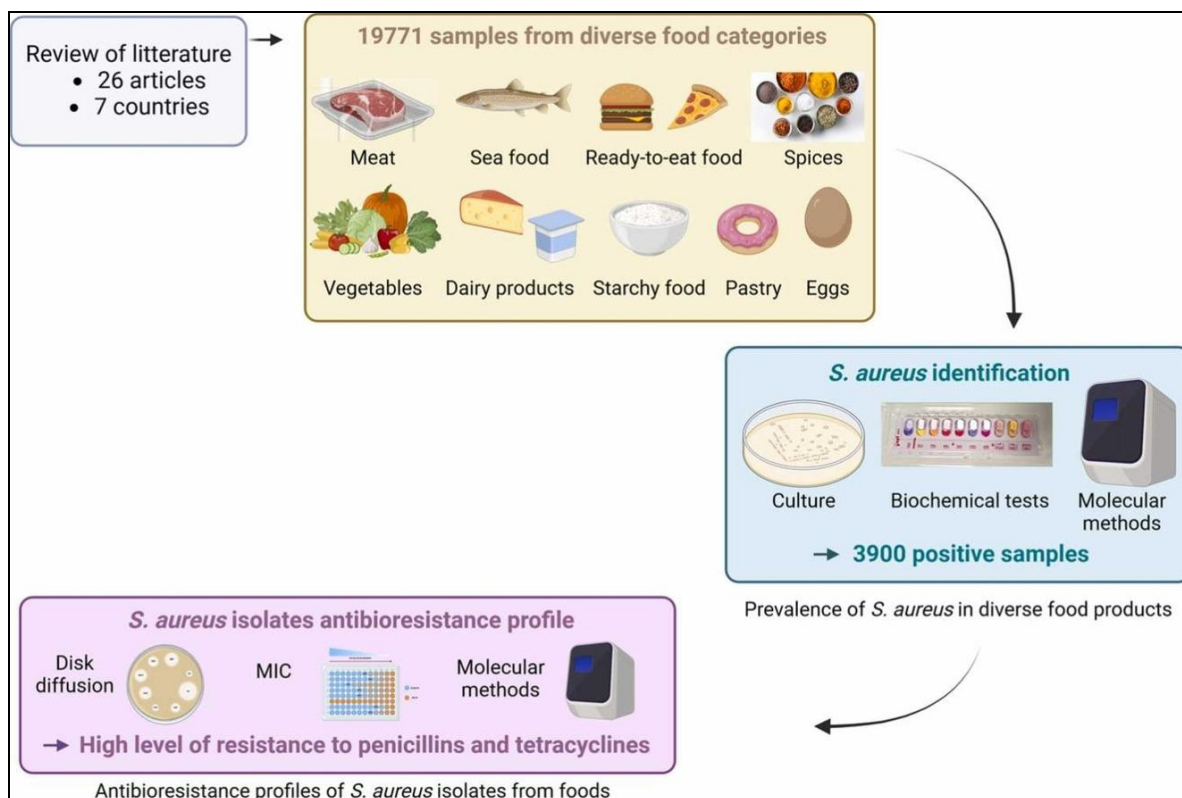
τροφίμων, αποθήκες ή άλλα σημεία επαφής με τρόφιμα μπορεί να δημιουργήσει ευνοϊκές συνθήκες για την επιβίωση μικροοργανισμών. Η μη σωστή απολύμανση των χώρων, εργαλείων και εξοπλισμού μπορεί να συμβάλλει στην επιμόλυνση των τροφίμων και στην εξάπλωση λοιμώξεων (Chowdhury et al., 2020).

Τρόφιμα ως πηγές μόλυνσης

Τα τρόφιμα αποτελούν σημαντική πηγή μόλυνσης για παθογόνους μικροοργανισμούς, όπως ο *S. aureus*, οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν τροφιμογενείς λοιμώξεις και δηλητηριάσεις. Αυτοί οι μικροοργανισμοί μπορεί να μεταδοθούν στα τρόφιμα από διάφορες πηγές και υπό διάφορες συνθήκες. Τα ωμά ή ατελώς μαγειρεμένα τρόφιμα, όπως τα ωμά κρέατα, τα θαλασσινά (Fri et al., 2020; Kukułowicz et al., 2021; Attia et al., 2024), τα πουλερικά, τα αυγά (Gong et al., 2023; Zhang et al., 2023) και τα γαλακτοκομικά προϊόντα, είναι επιρρεπή σε μόλυνση με παθογόνους μικροοργανισμούς, συμπεριλαμβανομένου του *S. aureus* (Pal et al., 2022). Αυτά τα τρόφιμα δεν περνούν από διαδικασία μαγειρέματος ή θερμικής επεξεργασίας που θα εξόντωνε τους μικροοργανισμούς, με αποτέλεσμα την παραμονή τους και την πρόκληση λοιμώξεων (Ballah et al., 2022; Pal et al., 2022; Léguillier et al., 2024).

Ορισμένα τρόφιμα ενδέχεται να είναι ήδη μολυσμένα κατά τη διάρκεια της παραγωγής τους. Για παράδειγμα, τα ωμά φρούτα και λαχανικά μπορεί να έρθουν σε επαφή με μολυσμένα νερά κατά την άρδευση ή τη μεταφορά τους (Łepecka et al., 2022). Τα γαλακτοκομικά προϊόντα, όπως το γάλα, τα τυριά και τα γιαούρτια, αποτελούν συχνές πηγές μόλυνσης όταν δεν αποθηκεύονται ή επεξεργάζονται σωστά (Zhang et al., 2023). Ο *S. aureus* μπορεί να εισέλθει στο γάλα από μολυσμένα εργαλεία ή από μηχανισμούς επεξεργασίας που δεν είναι καθαρά. Ακόμη, τα έτοιμα προς κατανάλωση τρόφιμα, όπως οι σαλάτες ή τα σάντουιτς, μπορεί να μολυνθούν από τον *S. aureus* κατά τη διαδικασία της παρασκευής ή της αποθήκευσης, κυρίως αν δεν τηρηθούν οι κανόνες υγιεινής (Foxcroft et al., 2024).

Εικόνα 3: *S. aureus* στα τρόφιμα



Πηγή: L guillier et al., 2024

Συντήρηση σε ακατάλληλες θερμοκρασίες

Η συντήρηση των τροφίμων σε ακατάλληλες θερμοκρασίες είναι μία από τις κύριες αιτίες επιμόλυνσης και ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών στα τρόφιμα, περιλαμβανομένου του *S. aureus*. Ο μικροοργανισμός αυτός μπορεί να πολλαπλασιαστεί γρήγορα σε θερμοκρασίες $\geq 7^{\circ}\text{C}$ και να προκαλέσει σοβαρές τροφιμογενείς λοιμώξεις. Η διατήρηση των τροφίμων σε λανθασμένες θερμοκρασίες μπορεί να συμβεί σε διάφορα στάδια της παραγωγής, αποθήκευσης και διανομής των τροφίμων, με σοβαρές συνέπειες για την ασφάλεια τους (Pal et al., 2019).

Η σωστή αποθήκευση, η κατάλληλη θερμική επεξεργασία και η αποφυγή της παραμονής των τροφίμων σε θερμοκρασίες κινδύνου είναι κρίσιμες για την πρόληψη τροφιμογενών λοιμώξεων, περιλαμβανομένων αυτών που προκαλούνται από τον *S. aureus*. Οι υπεύθυνοι για την παραγωγή, αποθήκευση και διαχείριση τροφίμων πρέπει να τηρούν αυστηρές θερμοκρασιακές οδηγίες για να εξασφαλίσουν την ασφάλεια των καταναλωτών (L guillier et al., 2024).

3.3 Νομοθεσία

Η νομοθεσία για την ασφάλεια των τροφίμων έχει ως στόχο την προστασία της δημόσιας υγείας και τη διασφάλιση ότι τα τρόφιμα που φτάνουν στους καταναλωτές είναι ασφαλή και κατάλληλα για κατανάλωση (Abebe et al., 2020). Οι κυβερνήσεις κατέχουν κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων, μέσω της ανάπτυξης και εφαρμογής κανονισμών και προτύπων που

καλύπτουν ολόκληρη την αλυσίδα παραγωγής και διανομής (Liang et al., 2023). Αυτοί οι κανονισμοί αποσκοπούν στην προστασία της δημόσιας υγείας, αντιμετωπίζοντας κινδύνους που σχετίζονται με παθογόνους μικροοργανισμούς, χημικές ουσίες και φυσικές μολύνσεις. Μέτρα όπως η θέσπιση μέγιστων επιτρεπόμενων επιπέδων ρύπων, η υποχρέωση για την τήρηση ορθών πρακτικών υγιεινής, και η ενίσχυση της ιχνηλασιμότητας των τροφίμων, διασφαλίζουν την ποιότητα και την ασφάλεια των τροφίμων που φτάνουν στους καταναλωτές (Thwala et al., 2021; Sorbo et al., 2022; Nyokabi et al., 2023). Παράλληλα, οι κυβερνήσεις εποπτεύουν τη συμμόρφωση των επιχειρήσεων μέσω ελέγχων και επιθεωρήσεων, ενώ προωθούν την ευαισθητοποίηση του κοινού για θέματα ασφάλειας τροφίμων (Anjum et al., 2019; Putri & Susanna, 2021).

Κανονισμός (ΕΚ) 2073/2005

Ο Κανονισμός (ΕΚ) 2073/2005 της Ευρωπαϊκής Ένωσης αφορά την υγιεινή των τροφίμων και καθορίζει τα κριτήρια ασφάλειας σχετικά με την παρουσία μικροοργανισμών στα τρόφιμα. Ο κανονισμός αυτός θέτει τις προϋποθέσεις για την παρακολούθηση και την εξασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων μέσω της καθιέρωσης αποδεκτών ορίων για τους μικροοργανισμούς, οι οποίοι μπορεί να προκαλέσουν τροφιμογενείς ασθένειες. Έχει ως κύριο στόχο να εξασφαλίσει την υγιεινή και ασφάλεια των τροφίμων που φθάνουν στον καταναλωτή, καθώς και να διασφαλίσει ότι τα τρόφιμα παρασκευάζονται και διατίθενται στην αγορά με τέτοιο τρόπο που να ελαχιστοποιούν τους κινδύνους για τη δημόσια υγεία από την παρουσία μικροοργανισμών, όπως ο *S. aureus*.

Ο κανονισμός καθορίζει όρια και κριτήρια για τους μικροοργανισμούς που επιτρέπεται να υπάρχουν σε διάφορους τύπους τροφίμων, προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος τροφιμογενών ασθενειών. Αυτά τα όρια περιλαμβάνουν κριτήρια για την παρουσία ή την εκκόλαψη παθογόνων μικροοργανισμών και όρια για τη μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση συγκεκριμένων μικροοργανισμών.

Ακόμη, προβλέπει όρια για την παρουσία *S. aureus* στα τρόφιμα, δεδομένου ότι το βακτήριο αυτό μπορεί να παράγει εντεροτοξίνες που προκαλούν τροφιμογενείς ασθένειες, ακόμη και σε θερμοκρασίες άνω των 60°C, όταν τα τρόφιμα δεν υποβάλλονται σε επαρκή θερμική επεξεργασία. Ο κανονισμός καθορίζει ποια τρόφιμα πρέπει να πληρούν τα κριτήρια και ποια είναι τα ανώτατα επιτρεπτά όρια για την παρουσία του συγκεκριμένου μικροοργανισμού.

Η ενεργή παρακολούθηση είναι σημαντική για τη διασφάλιση ότι οι τροφίμων που διατίθενται στην αγορά πληρούν τα κριτήρια του κανονισμού. Οι διαχειριστές τροφίμων (π.χ. επιχειρήσεις επεξεργασίας, παραγωγοί και προμηθευτές τροφίμων) πρέπει να εφαρμόζουν διαδικασίες για τον έλεγχο της παρουσίας των μικροοργανισμών, όπως τακτικούς μικροβιολογικούς ελέγχους. Οι εθνικές αρχές υγιεινής και ασφάλειας τροφίμων είναι υπεύθυνες για την εφαρμογή του κανονισμού και για τη διεξαγωγή ελέγχων. Σε περίπτωση που βρεθούν επίπεδα μικροοργανισμών πέρα από τα επιτρεπόμενα όρια, οι αρμόδιες αρχές μπορούν να επιβάλλουν κυρώσεις, όπως την ανάκληση προϊόντων από την αγορά ή την επιβολή προστίμων στις επιχειρήσεις.

Οι επιχειρήσεις τροφίμων πρέπει να εφαρμόζουν συστήματα ανάλυσης κινδύνου και κρίσιμων σημείων ελέγχου (HACCP) για να εξασφαλίσουν ότι δεν ξεπερνιούνται τα επιτρεπόμενα όρια για παθογόνους μικροοργανισμούς, όπως ο *S. aureus*. Η σωστή θερμοκρασία κατά την αποθήκευση και την επεξεργασία τροφίμων είναι ζωτικής σημασίας για τον περιορισμό της ανάπτυξης μικροοργανισμών. Οι επιχειρήσεις πρέπει να εξασφαλίσουν ότι τα τρόφιμα αποθηκεύονται και μαγειρεύονται σε ασφαλείς θερμοκρασίες. Επίσης, επιχειρήσεις πρέπει να πραγματοποιούν τακτικές μικροβιολογικές αναλύσεις σε διάφορα στάδια της παραγωγής και επεξεργασίας, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κανονισμού, για να εξασφαλίσουν ότι τα τρόφιμα παραμένουν ασφαλή.

Ο Κανονισμός (ΕΚ) 2073/2005 παρέχει ένα θεσμικό πλαίσιο για τη διατήρηση της ασφάλειας των τροφίμων και την προστασία των καταναλωτών από παθογόνους μικροοργανισμούς, όπως ο *S. aureus*. Οι επιχειρήσεις τροφίμων είναι υπεύθυνες για την εφαρμογή των κανονιστικών απαιτήσεων, τη διαχείριση της μόλυνσης και τη διασφάλιση της ποιότητας και ασφάλειας των προϊόντων τους μέσω κατάλληλων πρακτικών υγιεινής και συστημάτων ελέγχου.

Κανονισμός (ΕΚ) 852/2004

Καθορίζει τους γενικούς κανόνες υγιεινής για όλα τα τρόφιμα και τις διαδικασίες παραγωγής τους. Οι επιχειρήσεις τροφίμων είναι υποχρεωμένες να εφαρμόζουν συστήματα που εξασφαλίζουν την υγιεινή κατά τη διάρκεια της παραγωγής, αποθήκευσης, μεταφοράς και πώλησης. Αναφέρεται σε μέτρα όπως συστήματα παρακολούθησης της υγιεινής, μέτρα για την πρόληψη της μόλυνσης και υποχρεώσεις των χειριστών τροφίμων για τη διασφάλιση της καθαριότητας και της αποστείρωσης.

Κανονισμός (ΕΚ) 178/2002

Καθορίζει τις γενικές αρχές για την ασφάλεια των τροφίμων και διασφαλίζει την ασφάλεια των τροφίμων στην ΕΕ μέσω επιστημονικής αξιολόγησης. Διασφαλίζει ότι τα τρόφιμα και τα ζωικά προϊόντα παρακολουθούνται επιστημονικά, ότι οι κίνδυνοι από μικροοργανισμούς εκτιμώνται, και ότι οι καταναλωτές προστατεύονται από επικίνδυνες πρακτικές.

Κανονισμός (ΕΚ) 1935/2004

Καθορίζει τις απαιτήσεις για τα υλικά και τα αντικείμενα που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα, όπως συσκευασίες, σκεύη και εξοπλισμός. Διασφαλίζει ότι τα υλικά αυτά δεν μολύνουν τα τρόφιμα και ότι οι μικροοργανισμοί, όπως ο *S. aureus*, δεν μεταφέρονται στα τρόφιμα από αυτά τα υλικά.

3.4 Επιπτώσεις στην υγεία από τροφιμογενείς λοιμώξεις

Ο *S. aureus* είναι ένας κοινός παθογόνος μικροοργανισμός που μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου, κυρίως μέσω τροφιμογενών λοιμώξεων και λοιμώξεων του δέρματος (Tong et al., 2015; Guo et al., 2020; Liu et al., 2024). Όταν οι τοξίνες που παράγει ο *S. aureus* εισέρχονται στον οργανισμό μπορεί να προκαλέσουν διάφορες κλινικές καταστάσεις (Song et al., 2024).

Τροφιμογενής δηλητηρίαση (Food Poisoning)

Η τροφιμογενής δηλητηρίαση είναι μια κοινή ασθένεια που προκαλείται από την κατανάλωση τροφίμων που έχουν μολυνθεί από παθογόνους μικροοργανισμούς ή τοξίνες που παράγουν αυτοί οι μικροοργανισμοί. Η δηλητηρίαση αυτή συνήθως προκαλείται από βακτήρια, όπως ο *S. aureus*, το *Salmonella*, το *E. coli* και το *Campylobacter*. Στην περίπτωση του *S. aureus*, η τροφιμογενής δηλητηρίαση προκαλείται κυρίως από την κατανάλωση τροφίμων που περιέχουν την τοξίνη του βακτηρίου (Savini et al., 2022).

Τα συμπτώματα της τροφιμογενούς δηλητηρίασης από *S. aureus* εμφανίζονται συνήθως μέσα σε 1-6 ώρες μετά την κατανάλωση μολυσμένων τροφίμων και περιλαμβάνουν ναυτία, έμετο, διάρροια, κοιλιακό άλγος ή κράμπες, εφίδρωση και αδυναμία (Kadariya et al., 2014). Τα συμπτώματα συνήθως διαρκούν για 6-24 ώρες και είναι συνήθως οξέα, αλλά υποχωρούν χωρίς να προκαλέσουν μόνιμες βλάβες. Παρ' όλα αυτά, η κατάσταση μπορεί να είναι πιο σοβαρή σε ευάλωτους πληθυσμούς, όπως οι ηλικιωμένοι ή τα βρέφη, ή όταν υπάρχουν και άλλες ιατρικές καταστάσεις (Savini et al., 2022).

Η μόλυνση από *S. aureus* μπορεί να συμβεί όταν τα τρόφιμα έρχονται σε επαφή με το βακτήριο, το οποίο μπορεί να μεταδοθεί μέσω:

- Ακατάλληλης αποθήκευσης: Όταν τα τρόφιμα διατηρούνται σε θερμοκρασίες που επιτρέπουν την ανάπτυξη του βακτηρίου (όπως η θερμοκρασία δωματίου).
- Ανεπαρκούς θερμικής επεξεργασίας: Αν τα τρόφιμα δεν μαγειρευτούν ή δεν θερμανθούν επαρκώς, επιτρέποντας στα βακτήρια να επιβιώσουν και να παράγουν τοξίνες.
- Ακατάλληλης υγιεινής: Χειριστές τροφίμων που δεν πλένουν τα χέρια τους σωστά ή χειρίζονται τα τρόφιμα σε μη καθαρές συνθήκες μπορούν να μεταφέρουν το βακτήριο στα τρόφιμα.
- Ακρόαση ή ανοιχτή αποθήκευση τροφίμων: Η έλλειψη κάλυψης και η έκθεση των τροφίμων σε αέρα μπορεί να ευνοήσει τη μόλυνση με *S. aureus* (Pal et al., 2022; Dorjgochoo et al., 2023).

Δερματικές Λοιμώξεις

Ο *S. aureus* είναι ένας από τους πιο κοινούς αιτίες δερματικών λοιμώξεων, οι οποίες επηρεάζουν το δέρμα και τους γύρω ιστούς. Αυτές μπορεί να κυμαίνονται από ήπιες δερματικές καταστάσεις έως σοβαρές, απειλητικές για τη ζωή καταστάσεις, ανάλογα με την ένταση της λοίμωξης και τη γενική υγεία του ατόμου. Οι λοιμώξεις συνήθως προκαλούνται όταν το βακτήριο εισέρχεται σε κατεστραμμένο δέρμα ή σε ανοικτές πληγές, αλλά μπορεί να επηρεάσει και υγιή δέρματα σε ορισμένες περιπτώσεις. Οι φλύκταινες είναι μικρές, γεμάτες με πύον περιοχές του δέρματος που προκαλούν πόνο και φλεγμονή. Τα αποστήματα είναι πιο μεγάλες μάζες πύου που σχηματίζονται βαθύτερα στον ιστό και συνήθως συνοδεύονται από έντονο πόνο και ερυθρότητα. Αυτές οι λοιμώξεις συχνά ξεκινούν από μικρές εκδορές, γρατσουνιές ή τσιμπήματα και εξαπλώνονται γρήγορα αν δεν αντιμετωπιστούν άμεσα (Linz et al., 2023).

Η θυλακίτιδα είναι η φλεγμονή του θύλακα της τρίχας και προκαλεί μικρές φλεγμονώδεις εξανθήματα, συχνά με πύον, γύρω από τις τρίχες. Μπορεί να προκληθεί όταν το βακτήριο εισέρχεται σε θυλάκιο τρίχας μέσω μικρών εκδορών ή τριχών που είναι κατεστραμμένες ή ερεθισμένες. Άτομα με κατεστραμμένο δέρμα λόγω ατυχημάτων, χειρουργικών επεμβάσεων ή άλλων πληγών μπορεί να παρουσιάσουν σοβαρές μολύνσεις του δέρματος από τον *S. aureus*. Οι λοιμώξεις συχνά συνοδεύονται από πρήξιμο, ερυθρότητα, πύον και αύξηση της θερμοκρασίας της περιοχής της λοίμωξης (Gehrke et al., 2023). Σε πιο σοβαρές περιπτώσεις, ο *S. aureus* μπορεί να προκαλέσει το σύνδρομο σκανδαλώδους δερματικής λοίμωξης, το οποίο είναι γνωστό για την εμφάνιση εκτεταμένων περιοχών αποκόλλησης του δέρματος (Kareva et al., 2019). Αυτή η κατάσταση συνήθως παρατηρείται σε βρέφη ή μικρά παιδιά, καθώς και σε άτομα με αποδυναμωμένο ανοσοποιητικό σύστημα και είναι αποτέλεσμα της παραγωγής τοξινών από τον βακτήριο που προκαλούν αποκοπή του δέρματος από τους υποκείμενους ιστούς (Kareva et al., 2019; Cieza et al., 2024; Liu et al., 2024).

Εικόνα 4: Δερματικές βλάβες στο δεξιό αντιβράχιο και στον θώρακα



Πηγή: Kareva et al., 2019

Ο *S. aureus* μπορεί να προκαλέσει δερματικές λοιμώξεις όταν το δέρμα είναι ευάλωτο ή κατεστραμμένο. Άτομα με εξασθενημένο ανοσοποιητικό σύστημα, λόγω ασθενειών όπως HIV, σακχαρώδης διαβήτη ή χημειοθεραπεία, είναι πιο επιρρεπή σε λοιμώξεις από *S. aureus*. Σωληνώσεις, καθετήρες ή άλλες ιατρικές συσκευές που παραμένουν στον οργανισμό για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να προκαλέσουν μόλυνση (). Η επαφή με μολυσμένα αντικείμενα ή υγρά, καθώς και η κακή υγιεινή, αυξάνουν τον κίνδυνο μόλυνσης. Η έλλειψη σωστού καθαρισμού του δέρματος και της προσωπικής υγιεινής μπορεί να προάγει την ανάπτυξη του *S. aureus*. Αν δεν αντιμετωπιστεί άμεσα, η επιδερμική λοίμωξη μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές επιπλοκές (Linz et al., 2023).

Εικόνα 5: Διαφορετικές κλινικές δερματικές λοιμώξεις α) μεγάλη ξηρή διαβρωτική πλάκα στην κοιλιά β) διαβρώσεις με κρούστα και διαρροή στο κάτω άκρο γ) φυσαλιδώδεις και διαβρωτικές αλλοιώσεις στην κοιλιά δ) πολλαπλές ξηρές διαβρώσεις του χεριού



Πηγή: Giudice, (2020)

Αιματογενής λοίμωξη (Βακτηριαμία)

Ο *S. aureus* μπορεί να εισέλθει στην κυκλοφορία του αίματος μέσω κατεστραμμένων ιστών ή μολυσμένων ιατρικών εργαλείων (όπως καθετήρες). Η βακτηριαμία μπορεί να προκαλέσει σοβαρές συστηματικές λοιμώξεις, οι οποίες περιλαμβάνουν μηνιγγίτιδα, οστεομυελίτιδα, αρθρίτιδα, ενδοκαρδίτιδα. Μπορεί να οδηγήσει σε μια σειρά από επικίνδυνες επιπλοκές, δεδομένου ότι αυτός ο μικροοργανισμός έχει την ικανότητα να προκαλεί σοβαρές λοιμώξεις που μπορεί να καταλήξουν σε σηψαιμία, οξεία καρδιολογική ή αναπνευστική ανεπάρκεια και άλλες απειλητικές για τη ζωή

καταστάσεις. Μπορεί να προκαλέσει βακτηραιμία όταν τα βακτήρια εισέρχονται στην κυκλοφορία του αίματος μέσω ανοιχτών πληγών ή τραυμάτων, με τη χρησιμοποίηση καθετήρων, σωληνίσκων ή άλλων ιατρικών εργαλείων που έρχονται σε επαφή με το αίμα ή τα όργανα μπορεί να επιτρέψει την είσοδο του βακτηρίου στην κυκλοφορία του αίματος (Kimmig et al., 2021).

Εικόνα 6: Ο ενδοαγγειακός καθετήρας ως η πιο κοινή αιτία νοσοκομειακής επίκτητης βακτηραιμίας *S. aureus*



Πηγή: Abraham & Bamberger, 2020

Τα συμπτώματα της βακτηραιμίας εξαρτώνται από τη σοβαρότητα της λοίμωξης και το όργανο που πλήττεται, αλλά γενικά περιλαμβάνουν υψηλό πυρετό, ρίγος, εφίδρωση, γενική αδυναμία και κόπωση, ταχυκαρδία (ταχεία καρδιακή λειτουργία), πτώση της αρτηριακής πίεσης (στην περίπτωση ανάπτυξης σηψαιμίας), πόνος ή ευαισθησία στα προσβεβλημένα όργανα (όπως οι αρθρώσεις ή τα οστά). Σε πιο σοβαρές περιπτώσεις, μπορεί να προκύψει συστηματική ή αναπνευστική ανεπάρκεια και κλινική καταπληξία (shock) (Abraham & Bamberger, 2020).

Σύνδρομο τοξικού σοκ (TSST-1)

Το σύνδρομο τοξικού σοκ (TSST-1) είναι μία από τις πιο σημαντικές τοξίνες που παράγονται από το βακτήριο *S. aureus*. Πρόκειται για μια εξωτοξίνη που έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του ξενιστή και είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη του τοξικού σοκ (TSS), μια επικίνδυνη και ενίοτε απειλητική για

τη ζωή κατάσταση. Η TSST-1 επηρεάζει σοβαρά την ανοσολογική και καρδιαγγειακή λειτουργία του οργανισμού. Η TSST-1 είναι μια πρωτεΐνη που παράγεται από ο *S. aureus*, και ανήκει στην οικογένεια των σούπερ αντιγόνων. Αυτά τα αντιγόνα έχουν την ικανότητα να ενεργοποιούν ακατάλληλα και σε μεγάλη ποσότητα τα T-λεμφοκύτταρα, τα οποία είναι κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος υπεύθυνα για την απόκριση στην μόλυνση. Η υπερβολική ενεργοποίηση των T-λεμφοκυττάρων οδηγεί σε υπερβολική απελευθέρωση κυτοκινών και χημικών ουσιών (όπως η IL-1, IL-2, TNF-α), που προκαλούν συστηματική φλεγμονώδη αντίδραση (Atchade et al., 2024).

Ο μηχανισμός δράσης της TSST-1 περιλαμβάνει τη σύνδεση της τοξίνης με το MHC-II (κύριο σύμπλεγμα ιστοσυμβατότητας τάξης II) και τον T-cell receptor (TCR) των T-λεμφοκυττάρων, γεγονός που προκαλεί τη μη κανονική και υπερβολική απελευθέρωση των κυτοκινών. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σοκ, υποτασική κατάσταση (χαμηλή αρτηριακή πίεση), και πολυοργανική ανεπάρκεια (Celie et al., 2020; Goda et al., 2021).

Τοξικό σοκ είναι μια σοβαρή κατάσταση που προκαλείται από την παρουσία της TSST-1 και χαρακτηρίζεται από πυρετό και ρίγη, ερυθρότητα του δέρματος, υπόταση (χαμηλή αρτηριακή πίεση) και σοκ, αυξημένη διόγκωση των οργάνων, αναφυλακτική αντίδραση ή υπερβολική απόκριση από το ανοσοποιητικό σύστημα, εξάνθημα που εξελίσσεται σε αποφολιδωτικές αλλοιώσεις του δέρματος. Η μόλυνση μπορεί να μεταδοθεί μέσω άμεσης επαφής με μολυσμένα αντικείμενα ή μέσω άμεσης επαφής με μολυσμένα άτομα, όπως για παράδειγμα στο νοσοκομειακό περιβάλλον ή σε περιπτώσεις ανοιχτών τραυμάτων (Atchade et al., 2024).

4. Ανασκόπηση Νεότερων Δεδομένων

4.1 Επικαιροποιημένα στοιχεία για τη συχνότητα εμφάνισης του *S. aureus* σε τρόφιμα

Σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε πολλές μελέτες και έρευνες εστιάζουν στην ανάδειξη της συχνότητας εμφάνισης του *S. aureus* σε τρόφιμα. Ειδικότερα, κάθε χρόνο, εκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο υποφέρουν από ασθένειες που προκαλούνται από μολυσμένα τρόφιμα. Ανάμεσα στα θύματα, το 30% είναι παιδιά κάτω των πέντε ετών, κάτι που δείχνει τη σοβαρότητα του προβλήματος για τις ευάλωτες ομάδες. Οι περισσότερες περιπτώσεις οφείλονται σε κατανάλωση μολυσμένου νερού ή τροφίμων, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη για αυστηρότερα μέτρα υγιεινής και καλύτερους ελέγχους στην αλυσίδα τροφίμων (Kayan, 2017).

Οι Léquillier et al. (2024) πραγματοποίησαν μία ανασκόπηση και μετα-ανάλυση σχετικά με τον επιπολασμό του *S. aureus* σε διάφορες πηγές τροφίμων από το 2012 έως το 2022. Η έρευνα ανέδειξε ότι ο *S. aureus* είναι ιδιαίτερα διαδεδομένος στα έτοιμα προς κατανάλωση τρόφιμα (35,1%), στο κρέας (21,7%) και στα γαλακτοκομικά προϊόντα (18,5%). Από τα μολυσμένα προϊόντα, τα προϊόντα κρέατος παρουσίασαν το υψηλότερο ποσοστό μόλυνσης, φτάνοντας το 59,51%, με την κατανομή ως εξής: 44% για το βοδινό κρέας, 28% για το χοιρινό, 22% για το κοτόπουλο και 6% για το κρέας γαλοπούλας.

Η μελέτη των Liang et al. (2023) είχε ως στόχο την εκτίμηση του επιπολασμού του *S. aureus* σε προϊόντα διατροφής και τη διερεύνηση της σχέσης του με την εμφάνιση και ανάπτυξη σακχαρώδους διαβήτη. Συμπεριλήφθηκαν συνολικά 55 άρθρα, με τον συγκεντρωτικό επιπολασμό του *S. aureus* να ανέρχεται στο 30,2%. Ο υψηλότερος επιπολασμός καταγράφηκε στα δημητριακά, ακολουθούμενος από το κρέας και τα προϊόντα φασολιών, ενώ ο χαμηλότερος παρατηρήθηκε στα ζαχαρώδη, τα προϊόντα αυγών και τα λαχανικά. Παρόμοια επίπεδα επιπολασμού διαπιστώθηκαν στα γαλακτοκομικά προϊόντα και τα θαλασσινά. Οι μέθοδοι ανίχνευσης συνδύαζαν καλλιέργειες και μοριακές τεχνικές, ενώ η μελέτη έδειξε ότι ο επιπολασμός του *S. aureus* ήταν υψηλότερος στις ανεπτυγμένες χώρες (Ευρώπη και Βόρεια Αμερική) σε σύγκριση με τις αναπτυσσόμενες χώρες (Ασία και Αφρική). Στην Κίνα, υψηλότερα επίπεδα επιπολασμού καταγράφηκαν στις επαρχίες Xinjiang και Shaanxi συγκριτικά με το Sichuan και Shandong, πιθανώς λόγω διαφορών στο κλίμα και τις διατροφικές συνήθειες. Η μελέτη ανέδειξε επίσης την ανθεκτικότητα του *S. aureus* στα αντιβιοτικά, με τα υψηλότερα ποσοστά να καταγράφονται για την κεφραδίνη (82,9%), την πολυμυξίνη Β (82,0%) και την πενικιλίνη (81,3%). Επιπλέον, 17 μελέτες επιβεβαίωσαν τη στενή σύνδεση των λοιμώξεων από *S. aureus* με την ανάπτυξη σακχαρώδους διαβήτη. Η θεραπεία με προβιοτικά, πρεβιοτικά, μεταμόσχευση μικροβιώματος (FMT) και βακτηριοφάγους αναδείχθηκε ως μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για την πρόληψη και τον έλεγχο αυτών των λοιμώξεων.

Η μελέτη των Pérez-Boto et al. (2023) διερεύνησε την παρουσία του *S. aureus* σε έξι εγκαταστάσεις επεξεργασίας κρέατος ξηρής ωρίμανσης. Το βακτήριο ανιχνεύθηκε στο 3,8% των επιφανειών από πέντε εγκαταστάσεις, με υψηλότερη εμφάνιση κατά την επεξεργασία (4,8%) συγκριτικά με την περίοδο μετά τον καθαρισμό και την απολύμανση (1,4%). Συνολικά, 38 απομονώσεις *S. aureus* εξετάστηκαν μέσω τεχνικών PFGE και MLST, με το MLST να προσδιορίζει 11 τύπους αλληλουχιών (STs). Τα ST30 (32%) και ST12 (24%) ήταν τα πιο συχνά παρατηρούμενα. Σχετικά με τους γονιδιακούς παράγοντες λοιμογόνου δράσης, γονίδια εντεροτοξίνης εντοπίστηκαν στο 53% των απομονώσεων. Το γονίδιο της εντεροτοξίνης A (sea) βρέθηκε σε όλες τις απομονώσεις ST30, ενώ το seb και το sec ανιχνεύθηκαν σε απομονώσεις ST1 και ST45, αντίστοιχα. Επιπλέον, 16 απομονώσεις παρουσίασαν το σύμπλεγμα γονιδίων εντεροτοξίνης (egc) με τέσσερις παραλλαγές στη δομή της αλληλουχίας. Το γονίδιο της τοξίνης του συνδρόμου τοξικού σοκ (tst) ανιχνεύθηκε στο 82% των απομονώσεων. Όσον αφορά τη μικροβιακή αντοχή, 12 στελέχη (31,6%) ήταν ευαίσθητα σε όλα τα αντιβιοτικά που δοκιμάστηκαν, ενώ το 15,8% των απομονώσεων παρουσίασε αντοχή σε τρία ή περισσότερα αντιμικροβιακά, χαρακτηριστικό που τα καθιστά πολυανθεκτικά. Από τα στελέχη αυτά, τα MRSA ST398 προκάλεσαν ιδιαίτερη ανησυχία λόγω της δυνητικής απειλής που αποτελούν για την υγεία των καταναλωτών.

Η μελέτη των Ballah et al. (2022) εστίασε στην ανίχνευση *S. aureus* που παράγει βιοφίλμ από δείγματα τροφίμων και επιχρίσματα ανθρώπινων χεριών, χρησιμοποιώντας φαινοτυπικές και γονοτυπικές μεθόδους. Ο *S. aureus* ανιχνεύθηκε στο 23,81% των δειγμάτων (100 από τα 420). Από αυτά τα απομονωμένα στελέχη, 89 και 97 αποδείχθηκαν παραγωγοί βιοφίλμ βάσει ποιοτικών και ποσοτικών δοκιμών, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα, τουλάχιστον ένα γονίδιο που σχετίζεται με το σχηματισμό βιοφίλμ ανιχνεύθηκε σε 21 απομονώσεις *S. aureus*. Τέσσερις από αυτές τις απομονώσεις περιείχαν και τα πέντε βασικά γονίδια προσκόλλησης (icaA, icaB, icaC, icaD και bar), γεγονός που ενισχύει την παθογόνο δυναμική τους. Εντυπωσιακά, η ανάλυση των δεδομένων έδειξε ισχυρή και στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της παρουσίας αυτών των γονιδίων προσκόλλησης. Αυτή η έρευνα αποτελεί την πρώτη αναφορά για την ανίχνευση του *S. aureus* που σχηματίζει βιοφίλμ από τρόφιμα και επιχρίσματα ανθρώπινων χεριών στο Μπαγκλαντές, χρησιμοποιώντας μοριακές τεχνικές. Η έρευνα του Karmi (2019) εξέτασε 200 δείγματα κρέατος και προϊόντων κρέατος από αγορές του Ασουάν, συμπεριλαμβανομένων 100 δειγμάτων φρέσκου και κατεψυγμένου κρέατος κοτόπουλου (στήθος και μηροί) και 100 δειγμάτων προϊόντων κρέατος (κιμάς, μπιφτέκια, μεσημεριανό γεύμα, λουκάνικα). Τα δείγματα υποβλήθηκαν σε βακτηριολογικές και βιοχημικές δοκιμές για την απομόνωση και ταυτοποίηση του *S. aureus*, ενώ παράλληλα πραγματοποιήθηκε ανίχνευση γονιδίων που κωδικοποιούν σταφυλοκοκκικές εντεροτοξίνες (SEs) (sea, seb, sec) μέσω PCR. Ο επιπολασμός του *S. aureus* στο φρέσκο κρέας κοτόπουλου βρέθηκε να είναι 72% στους μύες του στήθους και 68% στους μηρούς, ενώ στο κατεψυγμένο κρέας κοτόπουλου τα αντίστοιχα ποσοστά ήταν 52% και 40%.

Στα προϊόντα κρέατος, ο επιπολασμός ήταν 20% στον κιμά, 24% στο μεσημεριανό γεύμα και μηδενικός σε μπιφτέκια και λουκάνικα. Η γενετική ανάλυση τοξικογόνων γονιδίων αποκάλυψε την παρουσία των *sea* και *sec* σε όλα τα θετικά στελέχη, ενώ το γονίδιο *seb* απουσίαζε. Η μελέτη υπογραμμίζει ότι η ικανότητα του *S. aureus* να προκαλεί τροφική δηλητηρίαση σχετίζεται κυρίως με την παρουσία γονιδίων που παράγουν εντεροτοξίνες. Επιπλέον, η PCR αποδείχθηκε ευαίσθητη και αξιόπιστη μέθοδος για την ανίχνευση μολυσματικών στελεχών του *S. aureus* σε κρέας και πουλερικά, παρέχοντας κρίσιμα δεδομένα για τη διασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων.

Η μελέτη των Mzee et al. (2023) ανέλυσε γενετικά απομονώσεις του *S. aureus* από γάλα και ρινικά επιχρίσματα ανθρώπων και βοοειδών, για να εξετάσει την πιθανή μετάδοση μεταξύ ειδών ξενιστών. Συνολικά, εντοπίστηκαν 14 διαφορετικοί τύποι αλληλουχίας (STs), συμπεριλαμβανομένων έξι νέων τύπων, με την ομαδοποίηση να επικεντρώνεται κυρίως στις γενεαλογίες CC97, CC5477 και CC152. Πέντε κοινά γονίδια αντοχής στα αντιβιοτικά (*tet(K)*, *blaZ*, *dfrG*, *erm(c)*, *str*) ανιχνεύθηκαν, ενώ το *mecA*, σχετιζόμενο με τη μεθικιλίνη-ανθεκτική *S. aureus* (MRSA), εντοπίστηκε σε μία ανθρώπινη απομόνωση. Παρατηρήθηκε αντοχή σε πολλαπλά φάρμακα στο 25% των απομονώσεων, κυρίως στις γενεαλογίες CC152 και CC121. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι απομονώσεις *S. aureus* γνωστές για την προέλευσή τους από βοοειδή (CC97) βρέθηκαν και σε ανθρώπους, ενώ ανθρώπινες γενεαλογίες (CC152) ανιχνεύθηκαν σε βοοειδή, υποδεικνύοντας πιθανή μετάδοση μεταξύ ξενιστών και την ανάγκη επιτήρησης στη διεπαφή ανθρώπου-ζώου.

Όλες αυτές οι έρευνες δείχνουν τον αυξανόμενο επιπολασμό του *S. aureus*, και ειδικότερα του μεθικιλίνη-ανθεκτικού *S. aureus* (MRSA), σε διάφορους τύπους τροφίμων, αποδεικνύοντας την ποικιλία των πηγών μόλυνσης και τον κίνδυνο για τη δημόσια υγεία. Διαπιστώνεται ότι το βακτήριο μπορεί να βρεθεί σε τρόφιμα ζωικής και φυτικής προέλευσης, καθώς και σε έτοιμα προς κατανάλωση προϊόντα και το πόσιμο νερό, με ποσοστά μόλυνσης που κυμαίνονται σημαντικά ανάλογα με τον τύπο τροφής και την περιοχή. Η ανθεκτικότητα του βακτηρίου σε αντιβιοτικά, καθώς και η παρουσία τοξινών που προκαλούν τροφική δηλητηρίαση, αποτελούν σοβαρές ανησυχίες για την ασφάλεια των τροφίμων. Οι έρευνες υπογραμμίζουν τη σημασία της εφαρμογής αυστηρών μέτρων υγιεινής και επιτήρησης για την πρόληψη της διασποράς του *S. aureus* και της ανάπτυξης ανθεκτικών στελεχών σε όλη την αλυσίδα παραγωγής τροφίμων.

4.2 Νέες τεχνικές ανίχνευσης και ταυτοποίησης

Η κύρια πρόκληση που αντιμετωπίζει ο *S. aureus* στον τομέα της ασφάλειας των τροφίμων είναι η έλλειψη ταχύτατων και βολικών μεθόδων ανίχνευσης. Αυτό περιορίζει την ικανότητα έγκαιρης ανίχνευσης και αντιμετώπισης της μόλυνσης, καθιστώντας πιο δύσκολη την πρόληψη της εξάπλωσης του βακτηρίου μέσω της τροφικής αλυσίδας (Lin et al., 2023). Οι τρέχουσες κλινικές μέθοδοι για την απομόνωση και την ταυτοποίηση του βασίζονται κυρίως στην καλλιέργεια και τη μικροσκοπία.

Παρόλο που αυτές οι μέθοδοι θεωρούνται αξιόπιστες, απαιτούν σημαντικό χρόνο και εξειδικευμένους πόρους, γεγονός που περιορίζει την εφαρμογή τους σε περιπτώσεις που απαιτείται ταχεία ανίχνευση, όπως στην ασφάλεια τροφίμων και τη δημόσια υγεία. Η ανάπτυξη μιας αποτελεσματικής και αξιόπιστης προσέγγισης για την ταχεία ανίχνευση του MRSA απευθείας από κλινικά δείγματα αποτελεί ζωτική προτεραιότητα (Abusheraida et al., 2024).

Η αναγνώριση του MRSA και του ευαίσθητου στη μεθικιλίνη *S. aureus* (MSSA) περιλαμβάνει μια ευρεία γκάμα τεχνικών, από παραδοσιακές καλλιέργειες μέχρι προηγμένες μοριακές μεθόδους. Οι καλλιέργειες χρωμογόνο άγαρ, συγκόλληση λατέξ, υποβοηθούμενη από μήτρα εκρόφηση λέιζερ/χρόνο ιονισμού πτήσης MALDI-TOF, βιοχημική ταυτοποίηση και δοκιμή ευαισθησίας Vitek χρησιμοποιούνται ευρέως για την απομόνωση και ταυτοποίηση του βακτηρίου. Ωστόσο είναι χρονοβόρες και απαιτούν εξειδικευμένο εξοπλισμό (Alipour et al., 2014; El-Mahdy et al., 2014). Αντίθετα, οι μοριακές μέθοδοι, όπως η PCR και διάφορα μοριακά αυτοματοποιημένα συστήματα ανίχνευσης, προσφέρουν ταχύτερη και ακριβέστερη διάγνωση, διευκολύνοντας την ανίχνευση ανθεκτικών στελεχών (Alipour et al., 2014).

Συμβατές μέθοδοι

- 1. Μέθοδοι ανίχνευσης καταμέτρησης:** Στην παραδοσιακή ανίχνευση, η ταυτοποίηση του *S. aureus* βασίζεται στη μικροκαλλιέργεια, όπως προβλέπεται από το εθνικό πρότυπο GB 4789.10-2016. Μετά τον εμπλουτισμό σε ζωμό με 7,5% χλωριούχο νάτριο, τα βακτήρια εμβολιάζονται σε πλάκες Baird-Parker (B-P) και πλάκες αίματος, ενώ ακολουθεί Gram χρώση, μικροσκοπική εξέταση και δοκιμασία κοαγκουλάσης πλάσματος για ποιοτική ανίχνευση. Ποσοτική ανίχνευση γίνεται μέσω καταμέτρησης πλακών ή μεθόδου MPN. Παράλληλα, η μέθοδος του χάρτινου δίσκου, που βασίζεται στην ενζυμική αντίδραση με χρωμογόνα υποστρώματα και το Petrifilm της εταιρείας 3M, που χρησιμοποιείται σε εμπορικές επιθεωρήσεις, θεωρούνται εναλλακτικές. Ενώ το εθνικό πρότυπο είναι απλό και δεν απαιτεί εξειδικευμένες συσκευές, έχει μειονεκτήματα όπως μεγάλος χρόνος επεξεργασίας και πολλαπλά βήματα. Αντίθετα, η μέθοδος του χάρτινου δίσκου και το Petrifilm προσφέρουν γρήγορα αποτελέσματα με υψηλή ευαισθησία και εύκολη χρήση, αλλά το κόστος τους είναι υψηλότερο (Zhao et al., 2023).
- 2. Χρωμογενές μέσο:** Λειτουργεί με την ίδια αρχή με τη μέθοδο του χάρτινου δίσκου και χρησιμοποιείται για την ανίχνευση μικροοργανισμών. Στην Κίνα, το μέσο Baird-Parker (B-P) είναι το συνηθισμένο χρωμογόνο μέσο, αλλά λόγω της χαμηλής του ειδικότητας, χρειάζεται να γίνουν και άλλες δοκιμές για να επιβεβαιωθεί το αποτέλεσμα. Στην Ιαπωνία, χρησιμοποιείται το μέσο Ινωδογόνου Πλάσματος Κουνελιού (RPF) για να ανιχνεύσει το κοαγκουλάση-θετικό *S. aureus*, το οποίο δημιουργεί γκρι και μαύρα ιζήματα γύρω από τις

αποικίες του. Τα χρωμογόνα μέσα έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν με μεγαλύτερη ειδικότητα σε σχέση με τα παραδοσιακά μέσα, ενώ προσφέρουν και ταχύτερα αποτελέσματα. Ωστόσο, παρουσιάζουν ορισμένα προβλήματα. Οι χημικές ουσίες που περιέχουν για να αναστέλλουν μη στοχευμένα βακτήρια μπορεί να επηρεάσουν την ανάπτυξη των βακτηρίων-στόχων. Επίσης, διαφορετικά βακτήρια μπορεί να παράγουν παρόμοιες ουσίες, οδηγώντας σε ψευδώς θετικά αποτελέσματα. Επιπλέον, η όλη διαδικασία είναι χρονοβόρα και απαιτητική επειδή τα χρωμογόνα μέσα χρειάζονται καλλιέργεια βακτηρίων (Zhao et al., 2020).

Μέθοδοι ταχείας ανίχνευσης

1. Ανοσοδοκιμασία: Η βασική αρχή της ανοσολογίας βασίζεται στη συγκεκριμένη σύνδεση μεταξύ αντιγόνου και αντισώματος. Αυτή η αρχή επιτρέπει την ταχεία ανίχνευση των μικροοργανισμών. Οι μέθοδοι ανοσοδοκιμασίας περιλαμβάνουν τεχνικές όπως την Ενζυμική Ανοσοροφητική Δοκιμασία (ELISA), Ενζυμική Φθοροανοσοδοκιμασία (ELFA) και Διαχωρισμό Ανοσομαγνητικών Σφαιριδίων. Αυτές οι μέθοδοι αξιοποιούν την ανοσολογική αντίδραση για να εντοπίσουν γρήγορα παθογόνα βακτήρια ή ιούς, παρέχοντας ακρίβεια και ταχύτητα στη διάγνωση (Zhao et al., 2020).

- *Ενζυμική Ανοσοροφητική Δοκιμασία (ELISA):* είναι μια ανοσολογική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση και την ποσοτική μέτρηση αντιγόνων ή αντισωμάτων σε ένα δείγμα. Αυτή η δοκιμή βασίζεται στην αρχή του συνδυασμού αντιγόνου-αντισώματος, όπου το αντιγόνο ή το αντίσωμα προσδένεται σε μια επιφάνεια και στη συνέχεια ανιχνεύεται με τη βοήθεια ενός ενζύμου που παράγει ορατό προϊόν μετά από κατάλληλη χημική αντίδραση. Η μέθοδος ELISA χρησιμοποιείται ευρέως λόγω της υψηλής ευαισθησίας της, της ακρίβειας στα αποτελέσματά της και της δυνατότητας να εξετάσει πολλές δειγματοληψίες ταυτόχρονα. Χρησιμοποιείται για τη διάγνωση πολλών παθογόνων βακτηρίων, όπως ο *S. aureus*, καθώς και για τον προσδιορισμό αντισωμάτων ή αντιγόνων σε τρόφιμα, κλινικά δείγματα ή βιολογικά υγρά (Zhao et al., 2020).
- *Ενζυμική Φθοροανοσοδοκιμασία (ELFA):* Είναι μια ανοσολογική μέθοδος που χρησιμοποιεί φθορισμό αντί για το χρώμα, όπως στην Ενζυμική Ανοσοροφητική Δοκιμασία (ELISA). Αυτή η τεχνική βασίζεται επίσης στην αρχή του συνδυασμού αντιγόνου-αντισώματος, όπου τα αντιγόνα ή τα αντισώματα συνδέονται με φθορίζοντα σωματίδια. Όταν εκτίθενται σε ειδικές συνθήκες φωτισμού, τα φθορίζοντα σωματίδια εκπέμπουν φως, το οποίο μπορεί να μετρηθεί με ειδικό όργανο (φωτόμετρο ή φθορίμετρο). Η μέθοδος ELFA είναι πιο ευαίσθητη και ταχύτερη από την ELISA, καθώς χρησιμοποιεί την φθορίζουσα ένωση για την ανίχνευση,

προσφέροντας υψηλότερη ακρίβεια και λιγότερη πιθανότητα σφάλματος λόγω της ενίσχυσης του φθορισμού. Χρησιμοποιείται κυρίως σε εργαστήρια για τη διάγνωση λοιμώξεων, όπως η ανίχνευση του *S. aureus*, προσφέροντας γρήγορη και αξιόπιστη ανάλυση (Zhao et al., 2020).

- **Ανοσομαγνητικός Διαχωρισμός (IMS):** είναι μια μέθοδος που αξιοποιεί την ικανότητα ορισμένων αντισωμάτων να συνδέονται ειδικά με τα αντιγόνα των μικροοργανισμών. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί μαγνητικά σφαιρίδια που έχουν επικαλυφθεί με αντισώματα, τα οποία αναγνωρίζουν συγκεκριμένα τα αντιγόνα του παθογόνου. Όταν τα δείγματα, όπως τρόφιμα ή κλινικά δείγματα, έρχονται σε επαφή με αυτά τα αντισώματα επικαλυμμένα σφαιρίδια, τα βακτήρια ή τα παθογόνα συνδέονται στα μαγνητικά σωματίδια. Στη συνέχεια, η χρήση μαγνητικού πεδίου επιτρέπει τον διαχωρισμό των συνδεδεμένων μικροοργανισμών από το υπόλοιπο δείγμα. Το δείγμα μπορεί να καθαριστεί, να εμπλουτιστεί και στη συνέχεια να εξεταστεί με άλλες μεθόδους, όπως PCR ή καλλιέργεια, για την τελική ανίχνευση του *S. aureus* ή άλλων παθογόνων. Προσφέρει υψηλή ευαισθησία, ακρίβεια και γρήγορη ανίχνευση, ενώ μειώνει το χρόνο και το κόστος της ανάλυσης σε σύγκριση με τις κλασικές καλλιεργητικές μεθόδους (Zhao et al., 2020).

2. Μέθοδοι μοριακής βιολογίας: Με την πρόοδο της μοριακής βιολογίας, οι μέθοδοι ανίχνευσης μικροοργανισμών δεν βασίζονται πλέον μόνο στις παραδοσιακές καλλιέργειες. Έχουν αναπτυχθεί πολλές ταχείες μοριακές τεχνικές που επιτρέπουν την γρήγορη ανίχνευση τροφιμογενών παθογόνων σε πολύ σύντομο χρόνο (Zhao et al., 2020).

- **Ανιχνευτής νουκλεϊκού οξέος:** Βασίζεται στην αρχή του συμπληρωματικού ζευγαρώματος βάσεων για την ανίχνευση μικροβίων. Αρχικά εφαρμόστηκε με επιτυχία για την ανίχνευση του *E. coli*, και πλέον χρησιμοποιείται για την ανίχνευση του *S. aureus*. Αυτή η τεχνική ενισχύει το βακτήριο-στόχο μέσω ειδικών εκκινητών που σχεδιάζονται με βάση εξαιρετικά διατηρημένες αλληλουχίες νουκλεϊκών οξέων. Το μεγαλύτερο χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου είναι η ισχυρή ειδικότητα, η ακρίβεια και η υψηλή ευαισθησία. Μελέτες χρησιμοποιούν ανιχνευτές νουκλεϊκού οξέος για να ανιχνεύσουν βακτηριακές αποικίες με ευαισθησία που φτάνει τουλάχιστον 10^6 CFU/mL και 10^7 CFU/mL. Αυτή η μέθοδος μπορεί να ανιχνεύσει ακόμα και επίπεδα 10 CFU του *S. aureus* σε δείγματα τροφίμων μετά από ενίσχυση, αν και η διαδικασία αυτή αυξάνει τον χρόνο ανίχνευσης (Zhao et al., 2020).
- **Αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (PCR):** Με την ταχεία πρόοδο της μοριακής βιολογίας, η αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (PCR) έχει εξελιχθεί ως μία από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους ταχείας ανίχνευσης του *S. aureus*. Σε σύγκριση με τις

παραδοσιακές τεχνικές, η PCR προσφέρει γρηγορότερα, πιο ακριβή και ευαίσθητα αποτελέσματα. Ωστόσο, έχει και περιορισμούς, καθώς απαιτεί την εξαγωγή DNA και μπορεί να επηρεαστεί από διάφορους παράγοντες, οδηγώντας σε ψευδή θετικά αποτελέσματα. Για την ανίχνευση τροφιμογενών μικροοργανισμών, υπάρχουν διάφορες παραλλαγές της τεχνολογίας PCR, όπως η συνηθισμένη PCR, η multiplex PCR, η RT-PCR, η qPCR και η IC-PCR. Μελέτες χρησιμοποίησαν τη συνηθισμένη PCR για να εντοπίσουν ανθεκτικά σε αντιβιοτικά βακτήρια και εντεροτοξίνες, ενώ άλλες, χρησιμοποίησαν qPCR για την ανίχνευση *S. aureus* σε τρόφιμα. Η multiplex PCR, επιτρέπει την ανίχνευση πολλαπλών στόχων με υψηλή ακρίβεια. Η IC-PCR είναι μια ειδική προσέγγιση που συνδυάζει την PCR με τη συσσώρευση αντιγόνου, προσφέροντας υψηλή ειδικότητα και ευαισθησία. Επιπλέον, η μέθοδος qPCR συνδυασμένη με χημικές ουσίες όπως το SDS και το PMA, προσφέρει ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια στην ανίχνευση ζωντανών βακτηρίων. Τέλος, η PCR-ELISA ανοσοσύλληψης (IC-PCR-ELISA) αποτελεί μια πολύ εξειδικευμένη τεχνική με μεγάλη ευαισθησία, ικανή να ανιχνεύσει εντεροτοξίνες σε πολύ χαμηλά επίπεδα (Zhao et al., 2020).

- *Ισόθερμη ενίσχυση με μεσολάβηση βρόχου (LAMP)*: Αναπτύχθηκε αρχικά από Ιάπωνες και αποτελεί μια σύγχρονη, γρήγορη και εξαιρετικά ευαίσθητη τεχνολογία ενίσχυσης νουκλεϊκών οξέων. Η LAMP προσφέρει γρήγορη και ακριβή ανίχνευση μικροοργανισμών, με ευαισθησία που φτάνει τα 25 CFU/mL για την ανίχνευση καθαρής καλλιέργειας *S. aureus* και 42 CFU/mL για ανίχνευση σε μολυσμένα τρόφιμα. Οι δοκιμές LAMP μπορούν να ολοκληρωθούν σε μόλις 40-60 λεπτά, καθιστώντας τις ιδανικές για γρήγορη διάγνωση. Η μέθοδος απαιτεί μόνο τρία απλά βήματα, γεγονός που μειώνει την απώλεια δειγμάτων και την πολυπλοκότητα της διαδικασίας. Η μέθοδος είναι απλή, συγκεκριμένη και ευαίσθητη, καθιστώντας τη ιδιαίτερα χρήσιμη για εργαστήρια σε χώρες με περιορισμένους πόρους. Ωστόσο, η LAMP μπορεί να προκαλέσει ψευδώς θετικά αποτελέσματα αν δεν τηρηθούν αυστηρές πειραματικές συνθήκες, κάτι που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή κατά τη χρήση της (Zhao et al., 2020).
- *Βιοαισθητήρας*: Είναι συσκευή που μετατρέπει τη συγκέντρωση ευαίσθητων βιολογικών ουσιών σε οπτικά ή ηλεκτρικά σήματα. Αποτελείται από αισθητήρια στοιχεία και αναγνωριστικά, τα οποία χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση του *S. aureus* σε τρόφιμα, στο περιβάλλον και σε άλλες ουσίες. Η χρήση του είναι εύκολη, καθώς δεν απαιτεί επιπλέον βήματα ενίσχυσης. Ένας τύπος βιοαισθητήρα που βασίζεται σε οπτική τεχνολογία έχει τραβήξει την προσοχή για την ανίχνευση παθογόνων, χάρη στην υψηλή ευαισθησία και την επιλεκτικότητά του. Επιπλέον, οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες βασίζονται σε προσαρμογείς που δρουν ως αναγνωριστικά και συνδυάζονται με

αισθητήρες για την παραγωγή μετρήσιμων ηλεκτρικών σημάτων. Οι ηλεκτροχημικές μέθοδοι έχουν το πλεονέκτημα της γρήγορης αντίδρασης, του χαμηλού κόστους, της απλής λειτουργίας και της φορητότητας, ξεπερνώντας τους οπτικούς αισθητήρες (Cieza et al., 2024).

- *Κυτταρομετρία ροής (FCM)*: Είναι μια εξελιγμένη μέθοδος που συνδυάζει την οπτική, την υδροδυναμική, τον ηλεκτρισμό και την τεχνολογία υπολογιστών. Χρησιμοποιείται για την ποσοτική μέτρηση και ανάλυση συνθετικών κυττάρων με τη χρήση πολλαπλών παραμέτρων. Το FCM εφαρμόζεται στην ανάλυση δεικτών κυτταρικής επιφάνειας και στην ταχεία αναγνώριση του *S. aureus*. Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση παρτίδων με σύντομο χρόνο ανίχνευσης, αλλά απαιτεί τη χρήση ειδικών οργάνων (Zhao et al., 2020).

5. Μελέτες Περιπτώσεων

5.1 Παρουσίαση πραγματικών περιστατικών τροφιμογενών λοιμώξεων

Η παρουσίαση πραγματικών περιστατικών τροφιμογενών λοιμώξεων είναι σημαντική για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι λοιμώξεις από *S. aureus* μπορούν να συμβούν και τις συνέπειες που έχει η μόλυνση για την ανθρώπινη υγεία. Αυτά τα περιστατικά προσφέρουν ουσιαστικές πληροφορίες για την παρακολούθηση, την πρόληψη και τη διαχείριση των τροφιμογενών ασθενειών.

Παράδειγμα 1: Τροφιμογενή λοίμωξη από *S. aureus* σε παιδιά δημοτικού σχολείου (Le et al., 2021)

- **Περιστατικό:** Το 2018, μια μεγάλη κλίμακα εστία τροφικής δηλητηρίασης σημειώθηκε σε σχολική καντίνα στην επαρχία Ninh Binh του Βιετνάμ, με αποτέλεσμα να νοσηλευτούν 352 μαθητές με συμπτώματα ενδεικτικά τροφικής δηλητηρίασης από *S. aureus*.
- **Αιτία:** Η εργαστηριακή έρευνα που ακολούθησε ανίχνευσε την παρουσία του *S. aureus* σε δύο τύπους τροφίμων—τηγανητές γαρίδες και νήμα κοτόπουλου—με έως και 10^3 CFU/mL και σταφυλοκοκκικές εντεροτοξίνες (SE) στο νήμα κοτόπουλου με συγκέντρωση $\geq 0,211$ ng SEs/g.
- **Τεχνικές ανίχνευσης:** Ο *S. aureus* απομονώθηκε επίσης από δείγματα εμετού και κοπράνων ασθενών, καθώς και από δείγματα κοπράνων από εργαζόμενους στην κουζίνα και κατεψυγμένο κρέας κοτόπουλου. Ωστόσο, δεν ανιχνεύθηκε στις επιφάνειες των χεριών των εργαζομένων στην κουζίνα, υποδηλώνοντας ότι η μόλυνση προήλθε από το κοτόπουλο. Μοριακός χαρακτηρισμός αποκάλυψε ότι όλα τα απομονωμένα στελέχη *S. aureus* ήταν στενά συνδεδεμένα και ανήκαν στον τύπο αλληλουχίας ST6, στον τύπο spa t701 και έφεραν τα γονίδια sea και sec. Αυτό το στέλεχος που παράγει εντεροτοξίνες ήταν ανθεκτικό στην πενικιλίνη και την τετρακυκλίνη, αλλά ευαίσθητο στην οξακυλίνη, την ερυθρομυκίνη, τη γενταμικίνη, τη μεθικιλίνη και τη βανκομυκίνη.
- **Συμπέρασμα:** Η έρευνά προσέφερε κρίσιμες ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες για τη παρακολούθηση και την επιτήρηση του παθογόνου στο Βιετνάμ, παρέχοντας χρήσιμα δεδομένα για την καθοδήγηση προληπτικών μέτρων για μελλοντικές εστίες.

Παράδειγμα 2: Τροφιμογενή λοίμωξη λόγω *S. aureus* τύπου B στο Döner Kebab (Ιταλία) (Romano et al., 2023)

- **Περιστατικό:** Τον Ιούλιο του 2022, το τοπικό υγειονομικό συμβούλιο του Τορίνο ενημερώθηκε για μια ύποπτη τροφογενή εστία που αφορούσε έξι παιδιά, τα οποία κατανάλωσαν ντόνερ κεμπάπ από ένα τοπικό εστιατόριο σε πακέτο. Τα πρώτα συμπτώματα, όπως έμετος και ναυτία, εμφανίστηκαν περίπου 2-3 ώρες μετά την κατανάλωση.
- **Αιτία:** Η εντεροτοξίνη SEB που παράγει ο *S. aureus* ήταν η αιτία του περοστατικού. Η μόλυνση προήλθε από την επαφή των χειριστών τροφίμων με τα τρόφιμα, είτε μέσω δερματικών λοιμώξεων από γυμνά χέρια ή μπράτσα, είτε με βήχα ή φτάρνισμα πάνω στο ακατέργαστο φαγητό.
- **Τεχνικές ανίχνευσης:** Η μικροβιολογική ανάλυση των δειγμάτων τροφίμων αποκάλυψε υψηλά επίπεδα σταφυλόκοκκων θετικών στην κοαγουλάση (CPS), φτάνοντας τα $1,5 \times 10^7$ CFU/g. Παράλληλα, μια ανοσοδοκιμασία εντόπισε την παρουσία σταφυλοκοκκικών εντεροτοξινών τύπου B (SEB). Η αλληλούχιση ολόκληρου του γονιδιώματος των απομονώσεων από τη μήτρα τροφής επιβεβαίωσε τα γονίδια που κωδικοποιούν τη σταφυλοκοκκική εντεροτοξίνη τύπου B, συμβατά με το SEB που ανιχνεύθηκε στο τρόφιμο. Ωστόσο, η τοξίνη τύπου B (SEB) σπάνια αναφέρεται σε περιπτώσεις τροφικής δηλητηρίασης από σταφυλόκοκκο, καθώς δεν υπάρχει συγκεκριμένη εμπορική μέθοδος ανίχνευσης της. Παράλληλα, δεν επιβεβαιώθηκε η συμμετοχή της εντεροτοξίνης τύπου P (SEP), αν και το αντίστοιχο γονίδιο (*sep*) ανιχνεύθηκε στα στελέχη. Τα ρινικά επιχρίσματα από τους χειριστές τροφίμων του εστιατορίου βρέθηκαν θετικά για CPS, γεγονός που υποδεικνύει ότι αυτοί πιθανόν να αποτελούσαν την πηγή μόλυνσης των τροφίμων.
- **Συμπεράσματα:** Αυτό το περιστατικό τονίζει την ανάγκη οι εργαζόμενοι να εκπαιδεύονται σωστά στις πρακτικές υγιεινής, ώστε να αποφεύγεται η μόλυνση των τροφίμων από παθογόνους μικροοργανισμούς.

Παράδειγμα 3: Τροφιμογενή λοίμωξη λόγω *S. aureus* που παράγει TSST1 (Goudsmit et al., 2021)

- **Περιστατικό:** Ένα 15χρονο αγόρι εισήχθη στο Τμήμα Επειγόντων Περιστατικών με πυρετό, σύγχυση και δερματικό εξάνθημα μια ημέρα μετά την κατανάλωση κρέατος σε ταχυφαγείο. Τα συμπτώματα περιλάμβαναν εφίδρωση, έμετο, μυαλγίες και μέτρια κοιλιακή ευαισθησία. Στην αρχική εξέταση, είχε αυξημένη θερμοκρασία σώματος, ταχυκαρδία, υπόταση και δερματικό εξάνθημα στο στήθος και τα άνω άκρα. Οι εξετάσεις αίματος αποκάλυψαν υψηλά επίπεδα λευκοκυττάρων, αυξημένους δείκτες φλεγμονής (CRP) και οξεία νεφρική

ανεπάρκεια. Ο ασθενής διασωληνώθηκε και υποβλήθηκε σε ενδοφλέβια αγωγή με υγρά και αγγειοσυσπαστικά, ενώ ξεκίνησε εμπειρική θεραπεία με αμοξικιλίνη-κλαβουλανική.

- **Αιτία:** Ο ασθενής είχε φάει πρόσφατα κρέας σε fast food και τέσσερις ώρες αργότερα παρουσίασε σύνδρομο τροφικής τοξίκωσης (έμετο και διάρροια).
- **Τεχνικές ανίχνευσης:** Τα αποτελέσματα αιμοκαλλιιεργειών επιβεβαίωσαν την παρουσία *S. aureus*, ενώ η ταχεία ταυτοποίηση έδειξε αρνητική αντίδραση στο τεστ PBP2a. Το πλήρες αντιβιογράμμα έδειξε ευαισθησία στο συγκεκριμένο στέλεχος. Οι επόμενες καλλιέργειες αίματος ήταν αρνητικές, ενώ οι καλλιέργειες κοπράνων και ηχοκαρδιογραφία ήταν φυσιολογικές. Ο ασθενής παρέμεινε στη ΜΕΘ για 7 ημέρες με ενδοφλέβια αντιβιοτικά, ενώ πήρε στοματική αγωγή για άλλη μια εβδομάδα. Δύο εβδομάδες μετά την αρχική εμφάνιση της νόσου, παρατηρήθηκε απολέπιση στα χέρια και τα πόδια του. Η μοριακή ανάλυση με PCR επιβεβαίωσε την παρουσία του γονιδίου *tsst-1* στο στέλεχος *S. aureus*, ενώ δεν ανιχνεύθηκαν οι τοξίνες *eta* ή *etb*. Ο τύπος του στελέχους προσδιορίστηκε ως *t2509 S. aureus*.
- **Συμπέρασμα:** Η έγκαιρη διάγνωση μέσω αιμοκαλλιιεργειών και η σωστή θεραπεία με αντιβιοτικά, όπως η αμοξικιλίνη-κλαβουλανική, αποδείχθηκαν κρίσιμες για τη σταθεροποίηση της κατάστασης του ασθενούς.

Παράδειγμα 4: Τροφιμογενή λοίμωξη λόγω *S. aureus* σε οίκο ευγηρίας (Savini et al., 2023)

- **Περιστατικό:** Τον Αύγουστο του 2019, σημειώθηκε ξέσπασμα τροφικής δηλητηρίασης από *S. aureus* σε οίκο ευγηρίας στο Πιεμόντε της Ιταλίας.
- **Αιτία:** Η επιδημιολογική έρευνα έδειξε ότι η σαλάτα κοτόπουλου ήταν η πιθανή πηγή της επιδημίας.
- **Τεχνικές ανίχνευσης:** Ο *S. aureus* απομονώθηκε από δείγματα εμετού επισκέπτη, φαγητού (σαλάτα κοτόπουλου με και χωρίς μαγιονέζα), καθώς και από ρινικά επιχρίσματα τεσσάρων ατόμων που εργάζονταν στην κουζίνα. Ανάλυση πολυμορφισμών απλού νουκλεοτιδίου και αλληλουχίας ολόκληρου του γονιδιώματος έδειξε ότι οι απομονώσεις προήλθαν από το ίδιο κλωνικό σύνολο. Παράλληλα, η φασματοσκοπία FTIR επιβεβαίωσε τη συσχέτιση των απομονώσεων, αποκαλύπτοντας την πηγή της μόλυνσης.
- **Συμπεράσματα:** Αυτή η μελέτη υπογραμμίζει τη σημασία της συνδυασμένης χρήσης μικροβιολογικών και επιδημιολογικών δεδομένων για την έρευνα τέτοιων εξάρσεων, ενώ το FTIR αποδεικνύεται ως ένα χρήσιμο εργαλείο για γρήγορη και ακριβή ανάλυση των στελεχών *S. aureus*.

Παράδειγμα 5: Τροφιμογενή λοίμωξη λόγω *S. aureus* σε πελάτες εστιατορίου, στην Ούμπρια (Ιταλία) (Ercoli et al., 2017)

- **Περιστατικό:** Στις 28 Αυγούστου 2015, ένα ξέσπασμα τροφικής δηλητηρίασης σημειώθηκε στην Ούμπρια της Ιταλίας, επηρεάζοντας 24 από τους 42 πελάτες ενός τοπικού εστιατορίου. Περίπου 3 ώρες μετά την κατανάλωση διάφορων τροφών, οι πελάτες εμφάνισαν γαστρεντερικά συμπτώματα, όπως έμετο και διάρροια.
- **Αιτία:** Η μόλυνση πιθανότατα προήλθε από χειριστή τροφίμων. Επιπλέον, η ακατάλληλη αποθήκευση του γλυκού για περίπου 5 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου επέτρεψε την ανάπτυξη μικροβίων και την παραγωγή SEA.
- **Τεχνικές ανίχνευσης:** Εντός 24 ωρών από την ειδοποίηση του νοσοκομείου, η τοπική Μονάδα Δημόσιας Υγείας πραγματοποίησε επιδημιολογική έρευνα. Συλλέχθηκαν δείγματα τροφών και περιβάλλοντος, ενώ ρινοφαρυγγικά επιχρίσματα ελήφθησαν από σερβιτόρους και μάγειρες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το επιδόρπιο κρέμας Chantilly ήταν η κύρια πηγή μόλυνσης, καθώς περιείχε υψηλά επίπεδα σταφυλόκοκκων θετικών στην κοαγουλάση (CPS) ($3,4 \times 10^8$ CFU/g) και σταφυλοκοκκικών εντεροτοξινών (2,12 ng SEA/g). Παράλληλα, CPS ανιχνεύθηκαν και στην επιφάνεια ενός τραπεζιού κουζίνας, ενώ πέντε χειριστές τροφίμων ήταν φορείς του *S. aureus*. Συνολικά, πέντε εντεροτοξιγονικές απομονώσεις *S. aureus* ανιχνεύθηκαν από τους μάγειρες, τις επιφάνειες της κουζίνας και το γλυκό. Οι απομονώσεις αυτές χαρακτηρίστηκαν με τεχνικές όπως η ηλεκτροφόρηση γέλης παλμικού πεδίου και η PCR, αποκαλύπτοντας την παρουσία πολλών γονιδίων που κωδικοποιούν εντεροτοξίνες (sea, seb, sec, κ.ά.) και αντιβιοτικών ανθεκτικών γονιδίων (mecA, mecC, mupA).
- **Συμπεράσματα:** Αυτό το περιστατικό υπογραμμίζει τη σημασία της συνδυασμένης μικροβιολογικής και επιδημιολογικής προσέγγισης για την διερεύνηση τροφικών εξάρσεων και την πρόληψη παρόμοιων περιστατικών στο μέλλον.

Παράδειγμα 6: Τροφιμογενή λοίμωξη σε νηπιαγωγείο (Guo et al., 2023)

- **Περιστατικό:** Στις 13 Μαΐου 2017, ένα ξέσπασμα τροφικής δηλητηρίασης σημειώθηκε σε νηπιαγωγείο στην επαρχία Χαϊνάν της Κίνας,
- **Αιτία:** Η δηλητηρίαση προκλήθηκε από στελέχη ST7 του *S. aureus*.
- **Τεχνικές ανίχνευσης:** Χρησιμοποιώντας αλληλούχιση ολόκληρου του γονιδιώματος (WGS), εξετάστηκαν τα γενετικά χαρακτηριστικά και η φυλογενετική σχέση αυτών των στελεχών σε συνδυασμό με 91 άλλα στελέχη ST7 από 12 επαρχίες της Κίνας. Η ανάλυση έδειξε σαφή φυλογενετική συγγένεια μεταξύ επτά απομονώσεων από το συγκεκριμένο ξέσπασμα. Όλα τα στελέχη περιείχαν έξι γονίδια αντοχής σε αντιβιοτικά, όπως τα blaZ, ANT(4')-Ib, tetK, lnuA, norA, και lmrS, τα οποία παρουσίασαν επίσης υψηλή συχνότητα στα 91 τροφιμογενή

στελέχη. Στο στέλεχος SFP DC53285 ανιχνεύθηκε ένα πλασμίδιο πολλαπλής αντοχής (pDC53285). Από τα 27 γονίδια εντεροτοξίνης που εξετάστηκαν, μόνο τα sea και selx βρέθηκαν σε όλα τα στελέχη, ενώ ταυτοποιήθηκε ένας προφάγος ΦSa3int που περιείχε σύμπλεγμα ανοσοδιαφυγής τύπου A (γονίδια sea, scn, sak, και chr).

- **Συμπέρασμα:** Η μελέτη κατέληξε ότι η μόλυνση προήλθε από κέικ που είχαν μολυνθεί με το στέλεχος ST7 *S. aureus*, υποδεικνύοντας τον πιθανό κίνδυνο εξάπλωσης ενός νέου κλώνου ST7 που εμπλέκεται στην τροφιμογενή δηλητηρίαση.

Παράδειγμα 7: Τροφιμογενή λοίμωξη μεταξύ παιδιών και προσωπικού σε ελβετικό οικοτροφείο (Johler et al., 2015)

- **Περιστατικό:** Την 1η Οκτωβρίου 2014, σημειώθηκε ξέσπασμα τροφικής δηλητηρίασης σε ένα ελβετικό οικοτροφείο μετά την κατανάλωση Tomme, ενός μαλακού τυριού από ωμό αγελαδινό γάλα. Μέσα σε 7 ώρες από την κατανάλωση, εμφάνισαν συμπτώματα 14 άτομα (10 παιδιά και 4 μέλη του προσωπικού), περιλαμβάνοντας κοιλιακό άλγος, έντονο έμετο, σοβαρή διάρροια και πυρετό. Η περίοδος επώασης διέφερε ανά ηλικία: 2,5 ώρες για παιδιά κάτω των 10 ετών, 3,5 ώρες για μεγαλύτερα παιδιά και 7 ώρες για ενήλικες.
- **Αιτία:** Η ανάλυση του τυριού αποκάλυψε *S. aureus* εντεροτοξίνες (SE): Χαμηλά επίπεδα SEA (>6 ng/g) και υψηλά επίπεδα SED (>200 ng/g) και *S. aureus* θετικοί στην κοαγκουλάση (CPS): 10^7 cfu/g, με τρία διαφορετικά στελέχη *S. aureus* σε επίπεδα $>10^6$ cfu/g.
- **Τεχνικές ανίχνευσης:** Ένα από τα στελέχη, που παρήγαγε SEA και SED, αναγνωρίστηκε ως πηγή της μόλυνσης. Χαρακτηρίστηκε ως τύπος spa t711, κλωνικό σύμπλεγμα 8, και γονότυπος B, που συνδέεται με σταφυλόκοκκο από βοοειδή και σχετίζεται με μαστίτιδα στις αγελάδες. Πιθανή πηγή της μόλυνσης ήταν το ωμό γάλα, το οποίο μολύνθηκε από *S. aureus* και ευνόησε την ανάπτυξη μικροβίων κατά την παραγωγή του τυριού.
- **Συμπεράσματα:** Παρόλο που κρούσματα τροφικής δηλητηρίασης από νωπά γαλακτοκομικά προϊόντα είναι σπάνια, το περιστατικό αυτό υπογραμμίζει τον κίνδυνο κατανάλωσης ωμού γάλακτος ή τυριών που παράγονται από αυτό, ειδικά για μικρά παιδιά ή άλλους ευάλωτους πληθυσμούς.

5.2 Ανάλυση αιτιών μόλυνσης σε συγκεκριμένα τρόφιμα

Η ανάλυση των αιτιών μόλυνσης σε συγκεκριμένα τρόφιμα είναι απαραίτητη για την κατανόηση των παραμέτρων που οδηγούν στην εμφάνιση τροφιμογενών λοιμώξεων. Διαφορετικά τρόφιμα έχουν διαφορετικούς κινδύνους μόλυνσης λόγω του τρόπου παραγωγής, επεξεργασίας, αποθήκευσης και σερβιρίσματος τους. Η παρουσία και η ανάπτυξη μικροοργανισμών, όπως ο *S. aureus*, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά των τροφίμων, καθώς και από τις

διαδικασίες που ακολουθούνται για την επεξεργασία τους (Liang et al., 2023; Nyokabi et al., 2023). Παρακάτω παρουσιάζεται η ανάλυση των αιτίων μόλυνσης σε ορισμένα είδη τροφίμων.

Γαλακτοκομικά προϊόντα (π.χ. γάλα, τυριά, γιαούρτι)

Τα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι τροφές υψηλού κινδύνου για μόλυνση από μικροοργανισμούς, καθώς περιέχουν υψηλή ποσότητα νερού και θρεπτικών συστατικών που προάγουν την ανάπτυξη των βακτηρίων. Αν το γάλα ή τα γαλακτοκομικά προϊόντα δεν υποβληθούν σε κατάλληλη θερμική επεξεργασία, όπως η παστερίωση, τα βακτήρια όπως ο *S. aureus* μπορεί να επιβιώσουν. Η αποθήκευση σε υψηλές θερμοκρασίες ευνοεί την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Η σωστή συντήρηση στους 4°C ή χαμηλότερα είναι κρίσιμη. Η μόλυνση μπορεί να προέλθει από τη μη σωστή υγιεινή των εργαζομένων ή από την επαφή του γάλακτος με επιφάνειες που είναι μολυσμένες από βακτήρια (Johler et al., 2015; Mzee et al., 2023).

Κρέατα και κρεατοσκευάσματα (π.χ. βοδινό, χοιρινό, πουλερικά, λουκάνικα)

Τα κρέατα και τα κρεατοσκευάσματα είναι συχνά φορείς παθογόνων μικροοργανισμών, λόγω της βιολογικής τους σύνθεσης και των συνθηκών επεξεργασίας. Τα παθογόνα βακτήρια όπως ο *S. aureus* μπορούν να παραμείνουν σε τροφή που δεν έχει ψηθεί ή μαγειρευτεί σωστά. Η επαφή των ωμών κρεάτων με άλλα τρόφιμα ή επιφάνειες μπορεί να προκαλέσει μόλυνση, ειδικά αν τα ωμά κρέατα δεν αποθηκεύονται χωριστά. Η αποθήκευση των κρεάτων σε θερμοκρασία δωματίου ή η μη τήρηση του ψυγείου στην κατάλληλη θερμοκρασία (μεγαλύτερη από 4°C) επιτρέπει στους μικροοργανισμούς να αναπτυχθούν γρήγορα. Ο μη καθαρισμός των επιφανειών και εργαλείων που έρχονται σε επαφή με το κρέας μπορεί να μολύνει το προϊόν (Nyokabi et al., 2023).

Σαλάτες και ωμά λαχανικά

Τα ωμά λαχανικά και οι σαλάτες είναι ευπαθή τρόφιμα για μόλυνση από μικροοργανισμούς, καθώς δεν υποβάλλονται σε θερμική επεξεργασία. Τα λαχανικά που ποτίζονται με μολυσμένο νερό ή που πλένονται με νερό που περιέχει παθογόνους μικροοργανισμούς μπορούν να μολύνουν την κατανάλωση των τροφίμων. Τα λαχανικά, όταν δεν αποθηκεύονται σωστά (στους 4°C ή χαμηλότερα), ενδέχεται να γίνουν ιδανικό περιβάλλον για την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Αν ωμά λαχανικά έρθουν σε επαφή με ωμά κρέατα ή άλλα μολυσμένα τρόφιμα, μπορεί να γίνει μετάδοση των βακτηρίων. Αν τα λαχανικά δεν πλυθούν σωστά πριν την κατανάλωση ή την προετοιμασία τους, μπορεί να παραμείνουν μικρόβια στην επιφάνειά τους (Nyokabi et al., 2023).

Ψάρια και θαλασσινά

Τα θαλασσινά είναι επίσης υψηλού κινδύνου τρόφιμα λόγω της γρήγορης αποικοδόμησης τους και της παρουσίας παθογόνων μικροοργανισμών που αναπτύσσονται γρήγορα σε μη σωστά συντηρημένα

προϊόντα. Τα θαλασσινά πρέπει να αποθηκεύονται σε θερμοκρασία κάτω από 4°C για να περιοριστεί η ανάπτυξη μικροοργανισμών. Η υψηλή θερμοκρασία ενισχύει την ανάπτυξη μικροβίων. Αν δεν ψυχθούν άμεσα μετά την αλίευση ή κατά την αποθήκευση στο κατάστημα, τα θαλασσινά μολύνονται εύκολα. Τα θαλασσινά που αλιεύονται σε μολυσμένα ύδατα μπορούν να φέρουν μικρόβια και να προκαλέσουν τροφιμογενείς λοιμώξεις όταν καταναλωθούν ωμά ή μη σωστά μαγειρεμένα (Kukułowicz et al., 2021).

6. Μέτρα Ελέγχου και Διαχείρισης Κινδύνων

Στις μελέτες που εξετάζουν τις τροφιμογενείς λοιμώξεις από *S. aureus* και άλλους μικροοργανισμούς, η αντιμετώπιση και τα μέτρα ελέγχου παίζουν καθοριστικό ρόλο στη μείωση των περιστατικών και στη διασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων. Ειδικά για την περίπτωση των λοιμώξεων που προκαλούνται από *S. aureus*, τα μέτρα ελέγχου επικεντρώνονται κυρίως στην αποφυγή της ανάπτυξης του βακτηρίου και της τοξίνης του στα τρόφιμα (Linz et al., 2023). Ακολουθούν ορισμένα βασικά μέτρα αντιμετώπισης και ελέγχου που αναφέρονται στις μελέτες για τη διαχείριση αυτών των μολύνσεων.

6.1 Καλή υγιεινή κατά τον χειρισμό τροφίμων

Η καλή υγιεινή κατά τον χειρισμό τροφίμων είναι θεμελιώδης για την εξασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων και την πρόληψη τροφιμογενών ασθενειών. Ο σωστός χειρισμός των τροφίμων από τη στιγμή που αυτά παραλαμβάνονται μέχρι την προετοιμασία, την αποθήκευση και την κατανάλωσή τους, είναι καθοριστικός για την αποφυγή επιμόλυνσης από επικίνδυνους μικροοργανισμούς, όπως ο *S. aureus* (Linz et al., 2023).

Ένα από τα πιο σημαντικά βήματα στην υγιεινή είναι η σωστή πλύση των χεριών. Οι εργαζόμενοι στον τομέα των τροφίμων πρέπει να πλένουν τα χέρια τους τακτικά και σχολαστικά, ιδιαίτερα πριν από την προετοιμασία των τροφίμων, μετά από τη χρήση τουαλέτας, και μετά από οποιαδήποτε επαφή με ακαθαρσίες ή βρώμικα εργαλεία. Η χρήση καθαρών εργαλείων και επιφανειών είναι επίσης κρίσιμη. Όλα τα εργαλεία που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα (μαχαίρια, επιφάνειες κοπής, σκεύη, κ.λπ.) πρέπει να καθαρίζονται και να απολυμαίνονται τακτικά. Η μόλυνση των τροφίμων μπορεί να συμβεί μέσω της επαφής τους με ακάθαρτες επιφάνειες ή εργαλεία. Είναι επίσης σημαντικό να

διαχωρίζονται τα εργαλεία και οι επιφάνειες που χρησιμοποιούνται για το κόψιμο ωμών τροφίμων από αυτά που χρησιμοποιούνται για τα έτοιμα προς κατανάλωση προϊόντα (Karmi, 2019).

Η σωστή αποθήκευση των τροφίμων συμβάλλει επίσης στην καλή υγιεινή. Τα τρόφιμα πρέπει να αποθηκεύονται σε κατάλληλες θερμοκρασίες και σε καθαρούς χώρους. Τα ευαίσθητα τρόφιμα πρέπει να διατηρούνται σε ψυγείο ή καταψύκτη και τα ξηρά τρόφιμα σε δροσερούς και ξηρούς χώρους για να αποφεύγεται η ανάπτυξη βακτηρίων και άλλων μικροοργανισμών. Επιπλέον, η αποφυγή της διασταυρούμενης μόλυνσης είναι ουσιαστική. Αυτό σημαίνει ότι τα ωμά τρόφιμα, όπως το κρέας, τα αυγά και τα ψάρια, πρέπει να διατηρούνται ξεχωριστά από τα έτοιμα προς κατανάλωση τρόφιμα και να μην έρχονται σε επαφή με αυτά κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και της προετοιμασίας (Linz et al., 2023).

6.2 Αξιολόγηση και έλεγχος σωστής αποθήκευσης

Η αξιολόγηση και ο έλεγχος σωστής αποθήκευσης τροφίμων είναι ουσιώδης για την εξασφάλιση της ασφάλειας και ποιότητας των προϊόντων, καθώς οι ακατάλληλες συνθήκες αποθήκευσης μπορούν να εντείνουν τους κινδύνους επιμόλυνσης και αλλοίωσης των τροφίμων. Η αποτελεσματική αποθήκευση περιλαμβάνει την τήρηση των σωστών συνθηκών θερμοκρασίας, υγρασίας και αερισμού, προκειμένου να μειωθεί η ανάπτυξη μικροοργανισμών και να διατηρηθεί η ποιότητα των τροφίμων για το μέγιστο χρονικό διάστημα (Karmi, 2019).

Ένας από τους βασικούς παράγοντες για την ασφαλή αποθήκευση είναι η θερμοκρασία. Τα περισσότερα παθογόνα μικρόβια, όπως ο *S. aureus*, αναπτύσσονται γρηγορότερα σε θερμοκρασίες από 5°C έως 60°C, γνωστή ως ζώνη κινδύνου θερμοκρασίας. Επομένως, τα ευαίσθητα τρόφιμα, όπως τα κρέατα, τα γαλακτοκομικά και τα προϊόντα με αυγά, πρέπει να διατηρούνται σε ψυκτικούς θαλάμους ή καταψύκτες σε κατάλληλες θερμοκρασίες για να μειωθεί η ανάπτυξη επικίνδυνων μικροοργανισμών. Η σωστή ψύξη και κατάψυξη βοηθούν στην αποτροπή των τροφιμογενών ασθενειών (Dorjgochoo et al., 2023).

Εκτός από τη θερμοκρασία, η υγρασία αποτελεί κρίσιμο παράγοντα στη διατήρηση της ασφάλειας των τροφίμων. Υψηλή υγρασία μπορεί να προάγει την ανάπτυξη μούχλας και άλλων μικροοργανισμών, ενώ η χαμηλή υγρασία μπορεί να οδηγήσει στην αφυδάτωση των τροφίμων και στην υποβάθμιση της ποιότητας (Karmi, 2019).

Ο αερισμός είναι επίσης σημαντικός, καθώς τα τρόφιμα που αποθηκεύονται σε κλειστούς και ανεπαρκώς αεριζόμενους χώρους μπορεί να αναπτύξουν δυσάρεστες οσμές και να γίνουν επιρρεπή σε μικροβιακή μόλυνση. Η καλή κυκλοφορία του αέρα βοηθά στη διατήρηση της ποιότητας των τροφίμων, καθώς και στην αποτροπή του σχηματισμού βιοφίλμ από παθογόνους μικροοργανισμούς. Επιπλέον, η διαχείριση των αποθεμάτων είναι καθοριστική για την αποφυγή της επιμόλυνσης. Τα

τρόφιμα θα πρέπει να αποθηκεύονται σε κατάλληλους χώρους που τηρούν αυστηρούς κανόνες υγιεινής και να διαχωρίζονται σύμφωνα με την κατηγορία τους (ωμά, μαγειρεμένα, αλλεργιογόνα κ.λπ.) (Guo et al., 2023).

6.3 Ανίχνευση και εποπτεία μικροοργανισμών

Η ανίχνευση και εποπτεία μικροοργανισμών είναι βασικά εργαλεία για την εξασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων και την πρόληψη τροφιμογενών λοιμώξεων. Οι σύγχρονες μέθοδοι ανίχνευσης επιτρέπουν την έγκαιρη αναγνώριση παθογόνων μικροοργανισμών, όπως ο *S. aureus*, που μπορεί να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα υγείας. Η έγκαιρη και ακριβής ανίχνευση βοηθά στον περιορισμό της εξάπλωσης των μολύνσεων και στην πρόληψη των επιδημιών (Guo et al., 2023).

Για την αποτελεσματική εποπτεία των μικροοργανισμών, χρησιμοποιούνται συστήματα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν αισθητήρες για τη συνεχιζόμενη καταγραφή των συνθηκών αποθήκευσης και παραγωγής, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία. Η παρακολούθηση αυτών των παραμέτρων επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση τυχόν κινδύνου μόλυνσης, προλαμβάνοντας την εξάπλωση παθογόνων. Η ιχνηλασιμότητα των τροφίμων μέσω τεχνολογιών όπως οι RFID και τα barcode systems συμβάλλει στην παρακολούθηση της πορείας των προϊόντων από την παραγωγή μέχρι τη διάθεσή τους, βοηθώντας στην ανίχνευση τυχόν μολύνσεων και στην απόσυρση μολυσμένων προϊόντων από την αγορά (Sorbo et al., 2022).

6.4 Εκπαίδευση και ενημέρωση του προσωπικού

Ο περιοδικός εκπαιδευτικός προγραμματισμός για τους εργαζόμενους στον τομέα της παραγωγής και επεξεργασίας τροφίμων για την ασφαλή μεταχείριση και χειρισμό των τροφίμων είναι κρίσιμος. Αυτό περιλαμβάνει τη σημασία της υγιεινής, της σωστής αποθήκευσης και της ακριβούς θερμικής επεξεργασίας των τροφίμων (Guo et al., 2023).

Η εκπαίδευση παρέχει στους εργαζόμενους τις απαραίτητες γνώσεις και δεξιότητες για την ασφαλή μεταχείριση και τον σωστό χειρισμό των τροφίμων, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο επιμόλυνσης και τροφιμογενών ασθενειών. Η εκπαιδευτική διαδικασία πρέπει να περιλαμβάνει ενημέρωση σχετικά με τις βασικές αρχές υγιεινής, όπως η σωστή πλύση των χεριών, η χρήση κατάλληλου εξοπλισμού και ενδυμασίας, και η αποφυγή πρακτικών που μπορούν να οδηγήσουν σε επιμόλυνση. Παράλληλα, οι εργαζόμενοι πρέπει να εξοικειώνονται με τις διαδικασίες καθαρισμού και απολύμανσης εξοπλισμού, καθώς και με τη διαχείριση αποβλήτων, για να αποφεύγονται οι συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη παθογόνων (Karmi, 2019).

Επιπλέον, οι εκπαιδευτικές ενότητες πρέπει να προσαρμόζονται στις συνεχώς εξελισσόμενες απαιτήσεις της βιομηχανίας τροφίμων, ενσωματώνοντας νέες τεχνολογίες και πρακτικές. Για παράδειγμα, η εκπαίδευση μπορεί να επικεντρώνεται σε θέματα όπως η χρήση συστημάτων ανίχνευσης παθογόνων, η εφαρμογή προτύπων HACCP και η ιχνηλασιμότητα προϊόντων (Sorbo et al., 2022).

Είναι σημαντικό η εκπαίδευση να υποστηρίζεται από πρακτική εφαρμογή, καθώς και από αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των προγραμμάτων, ώστε να διασφαλίζεται η συμμόρφωση με τα καθιερωμένα πρότυπα και η διαρκής βελτίωση των διαδικασιών. Η επένδυση στον εκπαιδευτικό προγραμματισμό όχι μόνο προάγει την ασφάλεια των τροφίμων αλλά συμβάλλει και στην ενίσχυση της εμπιστοσύνης του κοινού προς τα προϊόντα της βιομηχανίας (Karmi, 2019).

Συνολικά, η πρόληψη της επιμόλυνσης στη βιομηχανία τροφίμων απαιτεί ολοκληρωμένα μέτρα και στρατηγικές που καλύπτουν κάθε στάδιο της παραγωγής και επεξεργασίας. Μέσω της υγιεινής, της θερμικής επεξεργασίας, του ελέγχου και της εκπαίδευσης του προσωπικού, οι βιομηχανίες τροφίμων μπορούν να διασφαλίσουν την ασφάλεια των προϊόντων τους και να προστατεύσουν τους καταναλωτές από την κατανάλωση μολυσμένων τροφίμων (Kadariya et al., 2014).

7. Συμπεράσματα και Μελλοντικές Προοπτικές

7.1 Συνοπτική επισκόπηση ευρημάτων

Η συνοπτική επισκόπηση των ευρημάτων σχετικά με τον *S. aureus* και την ασφάλεια των τροφίμων αποδεικνύει την επικινδυνότητα αυτού του μικροοργανισμού στην πρόκληση τροφιμογενών λοιμώξεων. Ο *S. aureus* μπορεί να επιβιώσει σε διάφορα περιβάλλοντα τροφίμων και να αναπτύξει βιομεμβράνες που τον καθιστούν ανθεκτικό στις συνθήκες επεξεργασίας και αποθήκευσης. Η παρουσία του στα τρόφιμα σχετίζεται κυρίως με την ακατάλληλη υγιεινή και τη θερμική κακομεταχείριση, ενώ τα τρόφιμα υψηλού κινδύνου, όπως τα κρέατα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα, είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στη μόλυνση από αυτόν τον μικροοργανισμό.

Αναφορικά με τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, ο *S. aureus* μπορεί να προκαλέσει τροφιμογενείς δηλητηριάσεις και λοιμώξεις, όπως δερματικές μολύνσεις και βακτηριαιμία. Η τήρηση αυστηρών κανονισμών και πρακτικών υγιεινής, η κατάλληλη θερμική επεξεργασία και η συσκευασία των τροφίμων με τεχνολογίες ελεγχόμενης ατμόσφαιρας είναι καθοριστικά μέτρα για την αποφυγή επιμόλυνσης και τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας.

Συνολικά, η σωστή διαχείριση και επεξεργασία των τροφίμων, σε συνδυασμό με τις σύγχρονες τεχνολογίες υγιεινής, είναι απαραίτητη για την αποτροπή τροφιμογενών λοιμώξεων και τη διασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων στην κατανάλωση.

7.2 Ανάγκες για περαιτέρω έρευνα

Η ανάγκη για περαιτέρω έρευνα σχετικά με τον *S. aureus* και την ασφάλεια των τροφίμων είναι επιτακτική, δεδομένων των συνεχώς εξελισσόμενων προκλήσεων στη βιομηχανία τροφίμων. Είναι απαραίτητη η εις βάθος μελέτη των μηχανισμών παθογένειας του *S. aureus*, ιδιαίτερα των γονιδίων

που ευθύνονται για την παραγωγή τοξινών και την ανάπτυξη ανθεκτικών στελεχών. Η ταυτοποίηση νέων γονιδιακών παραλλαγών θα μπορούσε να συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση της ανθεκτικότητας σε αντιμικροβιακά και στον σχεδιασμό πιο στοχευμένων θεραπευτικών παρεμβάσεων (Thwala et al., 2021).

Οι υπάρχουσες τεχνικές ανίχνευσης του *S. aureus* πρέπει να εξελιχθούν για να γίνουν ταχύτερες, ακριβέστερες και πιο οικονομικές. Εργαστηριακές μέθοδοι, όπως η χρήση νανοτεχνολογίας ή συστημάτων βασισμένων στη γονιδιακή ανάλυση (π.χ. CRISPR-Cas), μπορούν να προσφέρουν πιο αποτελεσματικές λύσεις στον εντοπισμό παθογόνων (Karmi, 2019).

Περισσότερες μελέτες απαιτούνται για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο αυτές οι παράμετροι συμβάλλουν στην ανάπτυξη και εξάπλωσή του. Η αποτελεσματικότητα των σύγχρονων τεχνολογιών απολύμανσης πρέπει να αξιολογηθεί σε συνθήκες πραγματικής βιομηχανικής παραγωγής. Η έρευνα πρέπει να επικεντρωθεί στη βελτιστοποίηση αυτών των τεχνολογιών, ώστε να διατηρείται η ποιότητα των τροφίμων, ενώ παράλληλα περιορίζονται οι κίνδυνοι μόλυνσης (Abusheraida et al., 2024).

Μία μελλοντική έρευνα πρέπει να εστιάσει στην ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών συσκευασίας και αντιμικροβιακών επιστρώσεων. Πρέπει να διερευνηθούν στρατηγικές για τον περιορισμό της εξάπλωσης ανθεκτικών στελεχών στην εφοδιαστική αλυσίδα και στο περιβάλλον (Pal et al., 2022).

Η έρευνα πρέπει να επικεντρωθεί στη βελτίωση των προγραμμάτων εκπαίδευσης για χειριστές τροφίμων και καταναλωτές. Η κατανόηση της σημασίας της υγιεινής και της ασφαλούς αποθήκευσης μπορεί να μειώσει σημαντικά την επιμόλυνση από *S. aureus*. Η προώθηση της έρευνας σε αυτούς τους τομείς θα ενισχύσει την ικανότητά μας να διαχειριστούμε τις προκλήσεις που θέτει ο *S. aureus* και να διασφαλίσουμε ασφαλή και υψηλής ποιότητας τρόφιμα για όλους τους καταναλωτές (Sorbo et al., 2022).

7.3 Μελλοντικές στρατηγικές ενίσχυσης της ασφάλειας των τροφίμων

Η ασφάλεια των τροφίμων εξελίσσεται συνεχώς ως αποτέλεσμα της τεχνολογικής ανάπτυξης, της μεταβολής στις καταναλωτικές συνήθειες και της εμφάνισης νέων παθογόνων μικροοργανισμών. Μελλοντικές στρατηγικές πρέπει να εστιάζουν σε καινοτόμες λύσεις που ενισχύουν την πρόληψη, την ανίχνευση και την καταπολέμηση των κινδύνων στα τρόφιμα, με γνώμονα την αποτελεσματικότητα και τη βιωσιμότητα (Sorbo et al., 2022).

Μία από τις πιο ελπιδοφόρες στρατηγικές είναι η αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών ανίχνευσης παθογόνων. Η ενσωμάτωση τεχνολογιών, όπως η νανοτεχνολογία και οι αισθητήρες βασισμένοι στη μοριακή αναγνώριση, μπορεί να προσφέρει άμεση και εξαιρετικά ευαίσθητη ανίχνευση του *S. aureus*. Επιπλέον, η ανάπτυξη φορητών συσκευών για χρήση σε πραγματικό χρόνο θα ενισχύσει την ασφάλεια σε όλα τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας, διασφαλίζοντας ότι τα προϊόντα που φτάνουν

στους καταναλωτές είναι ασφαλή και απαλλαγμένα από επιβλαβείς μικροοργανισμούς (Nyokabi et al., 2023). Οι νέες φορητές συσκευές ανίχνευσης επιτρέπουν την άμεση χρήση τους σε εγκαταστάσεις παραγωγής ή διανομής, προσφέροντας τη δυνατότητα ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο. Αυτό μειώνει σημαντικά τον χρόνο απόκρισης και επιτρέπει τη λήψη άμεσων μέτρων για την αντιμετώπιση της μόλυνσης. Παράλληλα, η ενσωμάτωση τέτοιων συστημάτων σε διαδικασίες αυτοματοποιημένου ελέγχου της εφοδιαστικής αλυσίδας συμβάλλει στην πρόληψη διασποράς των παθογόνων και στη βελτίωση της ποιότητας των τροφίμων. Αυτές οι τεχνολογίες προσφέρουν τη δυνατότητα για ταχύτερη, ακριβέστερη και πιο ευαίσθητη ανίχνευση μικροοργανισμών, όπως ο *S. aureus*, ακόμα και σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (Sorbo et al., 2022).

Η γενετική έρευνα κατέχει κεντρικό ρόλο στις μελλοντικές στρατηγικές για την ενίσχυση της ασφάλειας των τροφίμων, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για τους μηχανισμούς ανθεκτικότητας και παθογένειας μικροοργανισμών, όπως ο *S. aureus*. Μέσω της ανάλυσης του γονιδιώματος, οι επιστήμονες μπορούν να εντοπίσουν γονίδια που σχετίζονται με την ανθεκτικότητα στα αντιβιοτικά ή την παραγωγή τοξινών, καθιστώντας δυνατή την ανάπτυξη πιο στοχευμένων και αποτελεσματικών στρατηγικών αντιμετώπισης (Sheehan et al., 2022).

Η εισαγωγή καινοτόμων τεχνολογιών απολύμανσης και συντήρησης αποτελεί μία από τις πλέον κρίσιμες στρατηγικές για την ενίσχυση της ασφάλειας των τροφίμων. Οι σύγχρονες μέθοδοι απολύμανσης εστιάζουν στη μείωση ή την εξάλειψη του *S. aureus*, με ελάχιστη ή καθόλου χρήση χημικών ουσιών, προσφέροντας ασφαλέστερες και πιο φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις (Abebe et al., 2020).

Επιπλέον, η ενσωμάτωση αισθητήρων μέσα στη συσκευασία για την παρακολούθηση παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η ανάπτυξη μικροβίων, παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας τη διαφάνεια στην εφοδιαστική αλυσίδα. Οι καινοτόμες τεχνολογίες απολύμανσης και συντήρησης, όταν συνδυαστούν με τις υπάρχουσες πρακτικές και τις αυστηρές κατευθυντήριες γραμμές, αποτελούν ισχυρό εργαλείο για την αντιμετώπιση των σύγχρονων προκλήσεων που σχετίζονται με την ασφάλεια των τροφίμων (Sorbo et al., 2022).

Με τη χρήση αισθητήρων και δικτύων IoT, είναι εφικτό να παρακολουθούνται κρίσιμες παράμετροι, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ποιότητα του αέρα και οι συνθήκες υγιεινής στις εγκαταστάσεις παραγωγής, επεξεργασίας και αποθήκευσης τροφίμων. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να συλλέγονται και να αναλύονται αυτόματα, επιτρέποντας την άμεση αναγνώριση αποκλίσεων που μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των τροφίμων (Pal et al., 2019).

Η ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης σε αυτά τα συστήματα ενισχύει την ικανότητα ανάλυσης μεγάλων όγκων δεδομένων, βοηθώντας στον εντοπισμό μοτίβων που υποδηλώνουν πιθανούς κινδύνους, όπως η ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών ή η επιμόλυνση. Τα συστήματα αυτά

μπορούν να ειδοποιούν αυτόματα τους υπεύθυνους παραγωγής ή ελέγχου, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να παρέμβουν πριν από την εμφάνιση προβλημάτων (Zhang et al., 2023).

Επιπλέον, οι αυτοματοποιημένες διαδικασίες ελέγχου μπορούν να εξασφαλίσουν την τήρηση των προδιαγραφών ασφάλειας με μεγαλύτερη ακρίβεια και συνέπεια. Για παράδειγμα, τα ρομπότ και οι αυτοματοποιημένοι εξοπλισμοί καθαρισμού μπορούν να διασφαλίσουν την απολύμανση επιφανειών και εξοπλισμού, μειώνοντας τον κίνδυνο επιμόλυνσης από ανθρώπινη παρέμβαση (Sorbo et al., 2022).

Τα έξυπνα συστήματα παρακολούθησης προσφέρουν επίσης τη δυνατότητα δημιουργίας ψηφιακών αρχείων καταγραφής, παρέχοντας διαφάνεια και δυνατότητα ιχνηλασιμότητας σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιπτώσεις που απαιτείται η ανάκληση προϊόντων ή η ταυτοποίηση των αιτιών μόλυνσης. Συνολικά, τα έξυπνα και αυτοματοποιημένα συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου όχι μόνο βελτιώνουν την ασφάλεια των τροφίμων αλλά συμβάλλουν και στη μείωση του κόστους, προσφέροντας αποτελεσματικότερη διαχείριση των κινδύνων και ενίσχυση της εμπιστοσύνης των καταναλωτών (Abusheraida et al., 2024).

Αυτές οι στρατηγικές, όταν συνδυαστούν, προσφέρουν μια ολιστική προσέγγιση για τη μελλοντική ενίσχυση της ασφάλειας των τροφίμων, ανταποκρινόμενες στις προκλήσεις και τις απαιτήσεις του σύγχρονου κόσμου.

8. Βιβλιογραφία

1. Abebe E, Gugsu G, Ahmed M. Review on Major Food-Borne Zoonotic Bacterial Pathogens. *Jour. of Trop. Med.* 2020 4674235.
2. Abraham L, Bamberger D. *Staphylococcus aureus* Bacteremia: contemporary management. *Missouri Medicine* 2020 117(4):341-5
3. Abu-Ghazaleh BM. Effect of Sodium Chloride on Subsequent Survival of *Staphylococcus aureus* in Various Preservatives. *Food and Nutr. Scien.* 2016 7:955-963.
4. Abusheraida NSA, AlBaker AAH, Aljabri ASA, Abdelrahman HA, Al-Mana H, Wilson GJ, Anan KA, Eltai NO. Rapid Visual Detection of Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* in Human Clinical Samples via Closed LAMP Assay Targeting *mecA* and *spa* Genes. *Microorganisms* 2024 12:157.
5. Ahmad-Mansour N, Loubet P, Pouget C, Dunyach-Remy C, Sotto A, Lavigne JP, Molle V. *Staphylococcus aureus* Toxins: An Update on Their Pathogenic Properties and Potential Treatments. *Toxins* 2021 13:677.
6. Alipour F, Ahmadi M, Javadi S. Evaluation of different methods to detect methicillin resistance in *Staphylococcus aureus* (MRSA). *J. Infect. Public Health* 2014 7:186–191.
7. Anjum MF, Marco-Jimenez F, Duncan D, Marín C, Smith RP, Evans SJ. Livestock-Associated Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* From Animals and Animal Products in the UK. *Front. Microbiol.* 2019 10:2136.
8. Atchade E, De Tymowski C, Grall N, Tanaka S, Montravers P. Toxic Shock Syndrome: A Literature Review. *Antibiotics* 2024 13(1):96.
9. Attia AS, Abou Elez RM, El-Gazzar N, Elnahriry SS, Alfifi AE, Al-Harthi HF, Ibrahim D. Cross sectional analysis of risk factors associated with *Mugil cephalus* in retailed fish markets

- concerning methicillin resistant *Staphylococcus aureus* and *Aeromonas hydrophila*. *Front. Cell. Infect. Microbiol.* 2024 14:1348973.
10. Ballah FM, Islam MS, Rana ML, Ferdous FB, Ahmed R, Pramanik PK, Karmoker J, Ievy S, Sobur MA, Siddique MP, et al. Phenotypic and Genotypic Detection of Biofilm-Forming *Staphylococcus aureus* from Different Food Sources in Bangladesh. *Biology* 2022 11:949.
 11. Becker K, Ballhausen B, Köck R, Kriegeskorte A. Methicillin resistance in *Staphylococcus* isolates: the “mec alphabet” with specific consideration of *mecC*, a *mec* homolog associated with zoonotic *S. aureus* lineages. *Inter. J. of Med. Micr.* 2014 304(7):794-804.
 12. Benkerroum, N. Staphylococcal Enterotoxins and Enterotoxin-like Toxins with Special Reference to Dairy Products: An Overview. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2017 58:1943–70.
 13. Brown, G. The endotoxin hypothesis of neurodegeneration. *J of Neur.* 2019 16:180.
 14. Cassini A, Diaz Högberg L, Plachouras D, Quattrocchi A, Hoxha A, Skov Simonsen G. Attributable deaths and disability-adjusted life-years caused by infections with antibiotic-resistant bacteria in the EU and the European Economic Area in 2015: A population-level modelling analysis. *Lancet Infect. Dis.* 2019 19(1):56-66.
 15. Celie KB, Colen DL, Kovach SJI. Toxic Shock Syndrome after Surgery: Case Presentation and Systematic Review of the Literature. *Plast. Reconstr. Surg.-Glob. Open* 2020 8:e2499.
 16. Chen Q, Xie S, Lou X, Cheng S, Liu X, Zheng W, Zheng Z, Wang H. Biofilm formation and prevalence of adhesion genes among *Staphylococcus aureus* isolates from different food sources. *Microbiologyopen* 2020, 9:e00946.
 17. Choby JE, Skaar EP. *Staphylococcus aureus* coproporphyrinogen III oxidase is required for aerobic and anaerobic heme synthesis. *mSphere* 2019 4:e00235-19.
 18. Chowdhury FR, Ibrahim QSU, Bari MS, Alam MMJ, Dunachie SJ, et al. Correction: The association between temperature, rainfall and humidity with common climate-sensitive infectious diseases in Bangladesh. *PLOS ONE* 2020 15(4):e0232285.
 19. Cieza MYR, Bonsaglia ECR, Rall VLM, Santos MVd, Silva NCC. Staphylococcal Enterotoxins: Description and Importance in Food. *Pathogens* 2024 13:676.
 20. Cogolludo A, Villamor E, Perez-Vizcaino F, Moreno L. Ceramide and regulation of vascular tone. *Int. J. Mol. Sci.* 2019 20:411.
 21. Dicks J, Turnbull JD, Russell J, Parkhill J, Alexander S. Genome Sequencing of a Historic *Staphylococcus aureus* Collection Reveals New Enterotoxin Genes and Sheds Light on the Evolution and Genomic Organization of This Key Virulence Gene Family. *J. Bacteriol.* 2021 203.

22. Divyakolu S, Chikkala R, Ratnakar KS, Sritharan V. Hemolysins of *Staphylococcus aureus*—An Update on Their Biology, Role in Pathogenesis and as Targets for Anti-Virulence Therapy. *Advances in Infectious Diseases*, 2019 9:80-104.
23. Dorjgochoo A, Batbayar A, Tsend-Ayush A, Erdenebayar O, Byambadorj B, Sarantuya J, Yandag M. Detection of virulence genes of *Staphylococcus aureus* isolated from raw beef for retail sale in the markets of Ulaanbaatar city, Mongolia. *Microb.* 2023 23:372.
24. El-Mahdy TS, El-Ahmady M, Goering RV. Molecular characterization of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* isolated over a 2-year period in a Qatari hospital from multinational patients. *Clin. Microbiol. Infect.* 2014 20:169–173.
25. Ercoli L, Gallina S, Nia Y, Auvray F, Primavilla S, et al. Investigation of a Staphylococcal Food Poisoning Outbreak from a Chantilly Cream Dessert, in Umbria (Italy). *Foodborne Pathogens and Disease* 2017 14(7):407-13
26. Ferreira MT, Manso AS, Gaspar P, Pinho MG, Neves AR. Effect of Oxygen on Glucose Metabolism: Utilization of Lactate in *Staphylococcus Aureus* as Revealed by In Vivo NMR Studies. *PLoS ONE* 2013 8(3):e58277.
27. Fisher EL, Otto M, Cheung GYC. Basis of Virulence in Enterotoxin-Mediated Staphylococcal Food Poisoning. *Front. Microbiol.* 2018 9:436.
28. Foster, T.J. Antibiotic resistance in *Staphylococcus aureus*. Current status and future prospects. *FEMS Microbiol. Rev.* 2017 7: 430–449.
29. Foxcroft N, Masaka E, Oosthuizen J. Prevalence Trends of Foodborne Pathogens *Bacillus cereus*, Non-STEC *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* in Ready-to-Eat Foods Sourced from Restaurants, Cafés, Catering and Takeaway Food Premises. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2024 21:1426.
30. Fri J, Njom HA, Ateba CN, Ndip RN. Antibiotic Resistance and Virulence Gene Characteristics of Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) Isolated from Healthy Edible Marine Fish. *Int. J. Microbiol.* 2020 9803903.
31. Gehrke AKE, Gai C, Gómez MI. *Staphylococcus aureus* Adaptation to the Skin in Health and Persistent/Recurrent Infections. *Antibiotics* 2023 12:1520.
32. Gnanamani A, Hariharan P, Paul-Satyaseela M. *Staphylococcus aureus*: Overview of Bacteriology, Clinical Diseases, Epidemiology, Antibiotic Resistance and Therapeutic Approach. *Front Staphylococcus Aureus.* 2017 4.
33. Goda K, Kenzaka T, Hoshijima M, Yachie A, Akita H. Toxic shock syndrome with a cytokine storm caused by *Staphylococcus simulans*: A case report. *BMC Infect. Dis.* 2021 21(1).

34. Gong H, Ma Y, Wang M, Gu Y, Deng R, Deng B, Chen Z. Microbiota profiles of hen eggs from the different seasons and different sectors of Shanghai, China. *Microorganisms* 2023 11:2519.
35. Gordon YCC, Justin SB, Michael O. (2021) Pathogenicity and virulence of *Staphylococcus aureus*. *Virulence* 2021 12(1):547-569.
36. Goudsmit A, Markowicz S, Lali SE, Cherifi S. Food poisoning due to a TSST1-producing *Staphylococcus aureus*. *IDCases* 2021 26:e01272.
37. Grispoldi L, Karama M, Armani A, Hadjicharalambous C, Cenci-Goga BT. *Staphylococcus aureus* enterotoxin in food of animal origin and staphylococcal food poisoning risk assessment from farm to table. *Italian J. of Anim. Scien.* 2021 20(1):677-690.
38. Giudice PD. Skin Infections Caused by *Staphylococcus aureus*. *Acta Derm. Venereol.* 2020 100:208-15.
39. Guo Y, Song G, Sun M, Wang J, Wang Y. Prevalence and Therapies of Antibiotic-Resistance in *Staphylococcus aureus*. *Front. Cell. Infect. Microbiol.* 2020 10:107.
40. Guo Y, Yu X, Wang J, Hua D, You Y, Wu Q, Ji Q, Zhang J, Li L, Hu Y, Wu Z, Wei X, Jin L, Meng F, Yang Y, Hu X, Long L, Hu S, Qi H, Ma J, Bei W, Yan X, Wang H, He Z A food poisoning caused by ST7 *Staphylococcal aureus* harboring sea gene in Hainan province, China. *Front. Microbiol.* 2023 14:1110720.
41. Hindy J, Quintero-Martinez JA, Lee AT, et al. Incidence Trends and Epidemiology of *Staphylococcus aureus* Bacteremia: A Systematic Review of Population-Based Studies. *Cureus* 2022 14(5):e25460.
42. Hikmah NA, Anuar TS. Mobile phones: a possible vehicle of bacterial transmission in a higher learning institution in Malaysia. *Malays J Med Sci.* 2020;27(2):151–158.
43. Hu DL, Li S, Fang R, Ono HK. Update on molecular diversity and multipathogenicity of staphylococcal superantigen toxins. *Anim. Dis.* 2021 1(7).
44. Idrees M, Sawant S, Karodia N, Rahman A. *Staphylococcus aureus* Biofilm: Morphology, Genetics, Pathogenesis and Treatment Strategies. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021 18:7602.
45. Johler S, Weder D, Bridy C, Huguenin MC, Robert L, Hummerjohann J, Stephan R. Outbreak of Staphylococcal Food Poisoning among Children and Staff at a Swiss Boarding School Due to Soft Cheese Made from Raw Milk. *J. Dairy Sci.* 2015 98:2944–48.
46. Kadariya J, Smith TC, Thapaliya D. *Staphylococcus aureus* and Staphylococcal Food-Borne Disease: An Ongoing Challenge in Public Health. *BioMed Res. Inter.* 2014 827965.

47. Kakoullis L, Papachristodoulou E, Chra P, Panos G. Mechanisms of Antibiotic Resistance in Important Gram-Positive and Gram-Negative Pathogens and Novel Antibiotic Solutions. *Antibiotics* 2021 10:415.
48. Kaplan JB, Assa M, Mruwat N, Sailer M, Regmi S, Kridin K. Facultatively Anaerobic Staphylococci Enable Anaerobic Cutibacterium Species to Grow and Form Biofilms Under Aerobic Conditions. *Microorganisms* 2024 12:2601.
49. Kareva L, Stavric K, Mironska K, Hasani A. Staphylococcal scalded skin syndrome. *J. of IMAB* 2019 25(3): 2655-58
50. Karmi M. Food poisoning ability of Staphylococcus aureus isolated from meat products and poultry meat. *Assiut Vet. Med. J.* 2019 65(162):7-13.
51. Kayan T. Staphylococcus aureus Secreted Toxins & Extracellular Enzymes. *Physiol Behav.* 2017 176(3):139–148.
52. Kim Y.B, Seo KW, Jeon HY, Lim SK, Lee YJ. Characteristics of the antimicrobial resistance of Staphylococcus aureus isolated from chicken meat produced by different integrated broiler operations in Korea. *Poult. Sci.* 2018 97:962–969.
53. Kimmig A, Hagel S, Weis S, Bahrs C, Löffler B, Pletz MW. Management of Staphylococcus aureus Bloodstream Infections. *Front. Med.* 2021 7:616524.
54. Krasowska A, Sigler K. How microorganisms use hydrophobicity and what does this mean for human needs? *Front. Cell. Infect. Microbiol.* 2014 4.
55. Kukułowicz A, Steinka I, Siwek A. Presence of antibiotic-resistant Staphylococcus aureus in fish and seafood originating from points of sale in the tri-city area (Poland). *J. Food Prot.* 2021 84:1911–14.
56. Kusch H, Engelmann S. Secrets of the secretome in Staphylococcus aureus. *Int J Med Microbiol.* 2014 304:133–141.
57. Lade H, Kim JS. Bacterial Targets of Antibiotics in Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus. *Antibiotics* 2021 10:398.
58. Le HHT, Dalsgaard A, Andersen PS, Nguyen HM, Ta YT, Nguyen TT. Large-Scale Staphylococcus aureus Foodborne Disease Poisoning Outbreak among Primary School Children. *Microbiol. Res.* 2021 12:43–52.
59. Lefebvre D, Blanco-Valle K, Hennekinne JA, Simon S, Fenaille F, Becher F, Nia Y. Multiplex Detection of 24 Staphylococcal Enterotoxins in Culture Supernatant Using Liquid Chromatography Coupled to High-Resolution Mass Spectrometry. *Toxins* 2022 14:249.
60. Leguillier, V, Pinamonti, D, Chang CM, Gunjan, Mukherjee, R, Himanshu, Cossetini, A, Manzano M, Anba-Mondoloni J, Malet-Villemagne J, Vidic J. A review and meta-analysis of Staphylococcus aureus prevalence in foods. *The Microbe* 2024 4:100131.

61. Łepecka A, Zielinska D, Szymanski P, Buras I, Kołozyn-Krajewska D. Assessment of the Microbiological Quality of Ready-to-Eat Salads—Are There Any Reasons for Concern about Public Health?. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022 19:1582.
62. Liang T, Liang Z, Wu S, Ding Y, Wu Q, Gu B. Global prevalence of *Staphylococcus aureus* in food products and its relationship with the occurrence and development of diabetes mellitus. *Med. Adv.* 2023 1:53–78.
63. Linz MS, Mattappallil A, Finkel D, Parker D. Clinical Impact of *Staphylococcus aureus* Skin and Soft Tissue Infections. *Antibiotics* 2023 12:557.
64. Liu A, Garrett S, Hong W, Zhang, J. *Staphylococcus aureus* Infections and Human Intestinal Microbiota. *Pathogens* 2024 13:276.
65. Liu C, Shen Y, Yang M, Chi K, Guo N. Hazard of Staphylococcal Enterotoxins in Food and Promising Strategies for Natural Products against Virulence. *J. Agric. Food Chem.* 2022 70:2450–65.
66. Maikranz E, Spengler C, Thewes N, Thewes A, Nolle F, Jung P, Bischoff M, Santen L, Jacobs K. Different binding mechanisms of: *Staphylococcus aureus* to hydrophobic and hydrophilic surfaces. *Nanoscale* 2020 12:19267–75.
67. Mekhloufi OA, Chieffi D, Hammoudi A, Bensefia SA, Fanelli F, Fusco V. Prevalence, Enterotoxigenic Potential and Antimicrobial Resistance of *Staphylococcus aureus* and Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) Isolated from Algerian Ready to Eat Foods. *Toxins* 2021 13:835.
68. Moormeier DE, Bayles KW. *Staphylococcus aureus* biofilm: A complex developmental organism. *Mol. Microbiol.* 2017 104:365–6
69. Mzee T, Kumburu H, Kazimoto T, Leekitcharoenphon P, van Zwetselaar M, Masalu R, Mlaganile T, Sonda T, Wadugu B, Mushi I, Aarestrup FM, Matee M. Molecular Characterization of *Staphylococcus aureus* Isolated from Raw Milk and Humans in Eastern Tanzania: Genetic Diversity and InterHost Transmission. *Microorganisms* 2023 11(6):1505.
70. Nguyen HTT, Nguyen TH, Otto M. The staphylococcal exopolysaccharide PIA—Biosynthesis and role in biofilm formation, colonization, and infection. *Comput. Struct. Biotechnol. J.* 2020 18:3324–34.
71. Nyokabi NS, Lindahl JF, Phelan LT, Berg S, Gemechu G, Mihret A, Wood JLN, Moore HL. Exploring the composition and structure of milk and meat value chains, food safety risks and governance in the Addis Ababa and Oromia regions of Ethiopia. *Front. Sustain. Food Syst.* 2023 7:1085390.

72. Pérez-Boto D, D'Arrigo M, García-Lafuente A, Bravo D, Pérez-Baltar A, Gaya P, Medina M, Arqués JL. *Staphylococcus aureus* in the Processing Environment of Cured Meat Products. *Foods* 2023 12:2161.
73. Paiva WS, Neto FES, Oliveira LLB, Bandeira MGL, Paiva ES, Batista ACL. *Staphylococcus aureus*: a threat to food safety. *Res., Soc. and Dev.* 2021 10(14):1-10.
74. Pal M, Ketchakmadze D, Durglishvili N, Ketchakmadze I. *Staphylococcus aureus*: A Major Pathogen of Food Poisoning: A Rare Research Report. *Nutrition and Food Processing.* 2022 5(1):74.
75. Pal S, Sayana A, Joshi A, Juyal D. *Staphylococcus aureus*: A predominant cause of surgical site infections in a rural healthcare setup of Uttarakhand. *J. Family Med. Prim. Care* 2019 8:3600–06.
76. Petrova OE, Sauer K. Sticky situations: Key components that control bacterial surface attachment. *J. Bacteriol.* 2012 194:2413–25.
77. Pfalzgraff A, Weindl G. Intracellular lipopolysaccharide sensing as a potential therapeutic target for sepsis. *Trends Pharmacol Sci.* 2019 40:187–97.
78. Popoff, M.R. Overview of Bacterial Protein Toxins from Pathogenic Bacteria: Mode of Action and Insights into Evolution. *Toxins* 2024, 16:182.
79. Rasheed N, Hussein N. *Staphylococcus aureus*: An Overview of Discovery, Characteristics, Epidemiology, Virulence Factors and Antimicrobial Sensitivity. *Eur. J. of Mol. & Clin. Med.* 2021 8(3):1160-83.
80. Rodriguez-Concepcion M, Avalos J, Bonet ML, Boronat A, Gomez-Gomez L, Hornero-Mendez D, Limon MC, MeléndezMartínez AJ, Olmedilla-Alonso B, Palou A, et al. A global perspective on carotenoids: Metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health. *Prog. Lipid Res.* 2018 70:62–93.
81. Romano A, Carrella S, Rezza S, Nia Y, Hennekinne JA, Bianchi DM, Martucci F, Zuccon F, Gulino M, Di Mari C, et al. First Report of Food Poisoning Due to Staphylococcal Enterotoxin Type B in Döner Kebab (Italy). *Pathogens* 2023 12:1139.
82. Sakr A, Brégeon F, Mège J-L, Rolain J-M, Blin O. *Staphylococcus aureus* Nasal Colonization: An Update on Mechanisms, Epidemiology, Risk Factors, and Subsequent Infections. *Front. Microbiol.* 2018 9:2419.
83. Saubenova M, Rapoport A, Venkatachalam M, Dufossé L, Yermekbay Z, Oleinikova Y. Production of Carotenoids by Microorganisms. *Fermentation* 2024 10:502.
84. Savini F, Romano A, Giacometti F, Indio V, Pitti M, Decastelli L, Devalle PL, Gorrasi ISR, Miaglia S, Serraino A. Investigation of a *Staphylococcus aureus* sequence type 72 food

- poisoning outbreak associated with food-handler contamination in Italy. *Zoonoses Public Health* 2023 70:411–9.
85. Sharma S, Mohler J, Mahajan SD, et al. Microbial biofilm: a review on formation, infection, antibiotic resistance, control measures, and innovative treatment. *Microorganisms*. 2023 11(6):1614.
 86. Sheehan JR, Sadlier C, O'Brien B. Bacterial endotoxins and exotoxins in intensive care medicine. *BJA Education*, 2022 22(6):224e230.
 87. Shoaib M, Aqib AI, Muzammil I, et al. MRSA compendium of epidemiology, transmission, pathophysiology, treatment, and prevention within one health framework. *Front Microbiol*. 2023 13.
 88. Song M, Tang Q, Ding Y, Tan P, Zhang Y, Wang T, Zhou C, Xu S, Lyu M, Bai Y, Ma X. *Staphylococcus aureus* and biofilms: transmission, threats, and promising strategies in animal husbandry. *J. of Anim. Scien. and Biotechn.* 2024 15:44.
 89. Sorbo A, Pucci E, Nobili C, Taglieri I, Passeri D, Zoani C. Food Safety Assessment: Overview of Metrological Issues and Regulatory Aspects in the European Union. *Separations* 2022 9(53)
 90. Su M, Lyles JT, Petit III RA, Peterson J, Hargita M, Tang H, Solis-Lemus C, Quave CL, Read TD. Genomic analysis of variability in Delta-toxin levels between *Staphylococcus aureus* strains. *PeerJ* 2020 8:e8717.
 91. Suzuki Y, Ono HK, Shimojima Y, Kubota H, Kato R, Kakuda T, Hirose S, Hu DL, Nakane A, Takai S, et al. A Novel Staphylococcal Enterotoxin SE02 Involved in a Staphylococcal Food Poisoning Outbreak That Occurred in Tokyo in 2004. *Food Microbiol*. 2020 92:10358.
 92. Tam K, Torres VJ. *Staphylococcus aureus* secreted toxins and extracellular enzymes. *Microbiol Spectrum* 2018 7(2):0039.
 93. Thaha AH, Malaka R, Hatta W, Maruddin F. *Staphylococcus aureus* as a foodborne pathogen in eggs and egg products in Indonesia: A review, *Int. J. One Health*, 2024 10(1):141–147.
 94. Thiran E, Di Ciccio P, Graber H, Zanardi E, Ianieri A, Hummerjohann J. Biofilm formation of *Staphylococcus aureus* dairy isolates representing different genotypes. *J. Dairy Sci*. 2018, 101:1000–12.
 95. Thwala T, Madoroba E, Basson A, Butaye P. Prevalence and Characteristics of *Staphylococcus aureus* Associated with Meat and Meat Products in African Countries: A Review. *Antibiotics* 2021 10:1108.
 96. Tong SY, Davis JS, Eichenberger E, Holland TL, Fowler VG. Jr. *Staphylococcus aureus* infections: Epidemiology, pathophysiology, clinical manifestations, and management. *Clin. Microbiol. Rev*. 2015 28(3):603–661.

97. Tran PM, Tang SS, Salgado-Pabón W. Staphylococcus aureus β -Toxin Exerts Anti-angiogenic Effects by Inhibiting Re-endothelialization and Neovessel Formation. *Front. Microbiol.* 2022 13:840236.
98. Tsouklidis N, Kumar R, Heindl SE, et al. Understanding the Fight Against Resistance: Hospital-Acquired Methicillin-Resistant Staphylococcus Aureus vs. Community-Acquired Methicillin-Resistant Staphylococcus Aureus. *Cureus* 2020 12(6):e8867.
99. Umeda K, Nakamura H, Yamamoto K, Nishina N, Yasufuku K, Hirai Y, Hirayama T, Goto K, Hase A, Ogasawara, J. Molecular and Epidemiological Characterization of Staphylococcal Foodborne Outbreak of Staphylococcus aureus Harboring Seg, Sei, Sem, Sen, Seo, and Selu Genes without Production of Classical Enterotoxins. *Int. J. Food Microbiol.* 2017 256:30–35
100. Urmi MR, Ansari WK, Islam MS, Sobur MA, Rahman M, Rahman MT. Antibiotic resistance patterns of Staphylococcus spp. isolated from fast foods sold in different restaurants of Mymensingh, Bangladesh. *J. Adv. Vet. Anim. Res.* 2021 8:274.
101. Wang H, Hou X, Shen J, et al. Alternative sigma factor B reduces biofilm formation and stress response in milk-derived Staphylococcus aureus. *Lwt.* 2022 162:113515
102. Wang W, Baloch Z, Jiang T, Zhang C, Peng Z, Li F, Fanning S, Ma A, Xu J. Enterotoxigenicity and Antimicrobial Resistance of Staphylococcus aureus Isolated from Retail Food in China. *Front. Microbiol.* 2017 8:2256.
103. Wu S, Huang J, Wu Q, Zhang J, Zhang F, Yang X, Wu H, Zeng H, Chen M, Ding Y, et al. Staphylococcus aureus Isolated From Retail Meat and Meat Products in China: Incidence, Antibiotic Resistance and Genetic Diversity. *Front. Microbiol.* 2018 9:2767.
104. Zhang J, Suo Y, Zhang D, Jin F, Zhao H, Shi C. Genetic and Virulent Difference Between Pigmented and Non-pigmented Staphylococcus aureus. *Front. Microbiol.* 2018 9:598
105. Zhang P, Wang P, Fu X, Xu X, Ruan F, Wang T, Chang G, Wan Y, Zhang Y, Wang X. Prevalence and characterization of Staphylococcus aureus in raw eggs and its growth and enterotoxin production in egg contents. *LWT* 2023 114379.
106. Zhao G, Lou Z, Zhu Z, Lai X, Li J, Lou X, Huang L, Chen Q. Epidemiological and Molecular Evidence of Foodborne Poisoning Outbreak Caused by Enterotoxin Gene Cluster-Harboring Staphylococcus aureus of New Sequence Type 7591. *Int. J. Infect. Dis.* 2023 135:132–135.
107. Zhao Y, Xia D, Ma P, Gao X, Kang W, Wei J. Advances in the detection of virulence genes of Staphylococcus aureus originate from food. *Food Science and Human Wellness*, 2020 9:40-4
108. Zhu Z, Hu Z, Li S, Fang R, Ono HK, Hu DL. Molecular Characteristics and Pathogenicity of Staphylococcus aureus Exotoxins. *Int. J. Mol. Sci.* 2024, 25:395.

109. Κανονισμός (ΕΚ) 2073/2005. Περί μικροβιολογικών κριτηρίων για τα τρόφιμα.
110. Κανονισμός (ΕΚ) 852/2004. Για την υγιεινή των τροφίμων.
111. Κανονισμός (ΕΚ) 178/2002. Για τον καθορισμό των γενικών αρχών και απαιτήσεων της νομοθεσίας για τα τρόφιμα, για την ίδρυση της Ευρωπαϊκής Αρχής για την Ασφάλεια των Τροφίμων και τον καθορισμό διαδικασιών σε θέματα ασφαλείας των τροφίμων.
112. Κανονισμός (ΕΚ) 1935/200. Σχετικά με τα υλικά και αντικείμενα που προορίζονται να έρθουν σε επαφή με τρόφιμα και με την κατάργηση των οδηγιών 80/590/ΕΟΚ και 89/109/ΕΟΚ.