

## ΤΑ ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Όνομα επιβλέποντος  
ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΚΑΝΕΛΛΟΥ

---

Όνομα μέλους επιτροπής  
ΕΙΡΗΝΗ ΣΤΡΑΤΗ

---

Όνομα μέλους επιτροπής  
ΒΑΛΕΝΤΙΝΑ ΣΤΕΦΑΝΟΥ

---

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Μπόμπολου Αιμιλία Μαρία του Χαραλάμπου, με αριθμό μητρώου 16069 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μας ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση των πτυχίου μου».

Η δηλούσα

Μπόμπολου Αιμιλία Μαρία

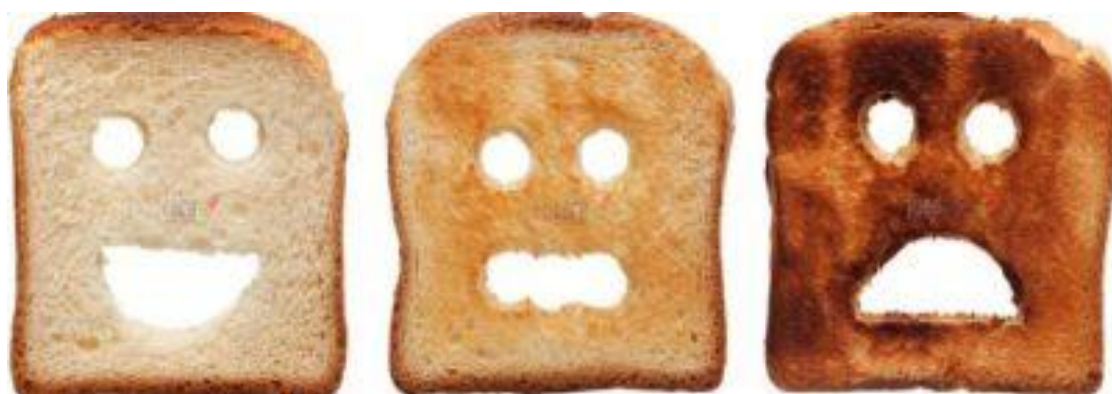




**Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής**  
**Τμήμα Επιστήμης και**  
**Τεχνολογίας Τροφίμων**

# ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΚΡΥΛΑΜΙΔΙΟΥ ΣΕ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ Η ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

---



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
**ΜΠΟΜΠΟΛΟΥ ΑΙΜΙΛΙΑ ΜΑΡΙΑ**

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ  
ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΚΑΝΕΛΛΟΥ

## Περίληψη

Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των τροφίμων, η θερμική επεξεργασία ενδέχεται να προκαλέσει την ανάπτυξη ορισμένων ανεπιθύμητων ενώσεων. Το ακρυλαμίδιο είναι μία από τις ενώσεις που σχηματίζονται από την αντίδραση Maillard μεταξύ αναγωγικών σακχάρων και ελεύθερων αμινοξέων, κυρίως σε προϊόντα πλούσια σε άμυλο, όταν αυτά υπερθερμανθούν. Λόγω της εκτεταμένης παρουσίας του σε τρόφιμα ευρείας κατανάλωσης, αλλά και της τοξικότητας του, το ακρυλαμίδιο έχει τραβήξει την προσοχή της επιστημονικής κοινότητας τα τελευταία χρόνια. Από την ανακάλυψη του έως σήμερα, πολλοί ερευνητές αναζητούν διαδικασίες μετριασμού του. Η παρούσα πτυχιακή προσφέρει ενημερωμένες και λεπτομερείς γνώσεις σχετικά με τον σχηματισμό ακρυλαμιδίου, την διατροφική έκθεση, την τοξικότητα και τρόπους μετριασμού του κατά την διάρκεια της επεξεργασίας των τροφίμων.

## Abstract

During the processing of food, heat treatment may cause the development of undesirable compounds. Acrylamide is one of the compounds formed by the Maillard reaction between reducing sugars and free amino acids, mainly in products rich in starch, when they are overheated. Due to its extensive presence in consumer foods, but also its toxicity, acrylamide has captured the attention of the scientific community in recent years. Since its discovery to the present day, many researchers have been looking for procedures to mitigate it. This thesis

offers up-to-date and detailed knowledge on acrylamide formation, nutritional exposure, toxicity and ways to mitigate it during food processing.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Abstract .....	4
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή .....	7
1.1 Γενικά για το ακρυλαμίδιο .....	8
1.2 Χημική Δομή Ακρυλαμιδίου .....	8
1.3 Ιδιότητες Ακρυλαμιδίου .....	9
1.4 Προέλευση Ονομασίας Ακρυλαμιδίου .....	9
1.5 Παρασκευή Ακρυλαμιδίου .....	10
1.6 Χρήσεις Ακρυλαμιδίου .....	11
Κεφάλαιο 2 Βιοχημεία σχηματισμού του ακρυλαμιδίου .....	12
2.1 Ακρυλαμίδιο και Αντίδραση Maillard .....	13
2.1.1 Ασπαραγίνη .....	14
2.1.2 Μηχανισμός ασπαραγίνης- γλυκόζης μέσω Maillard για το σχηματισμό ακρυλαμιδίου .....	15
2.1.3 Σχηματισμός μέσω της ακρολεΐνης.....	17
2.1.4. Σχηματισμός ακρυλαμιδίου μέσω αντιδράσεων αμινοξέων που δεν περιλαμβάνουν την ακρολεΐνη .....	18
2.2 Παράγοντες που επιδρούν στην Maillard και το σχηματισμό ακρυλαμιδίου .....	19
2.2.1 Υγρασία και ενεργότητα νερού .....	19
2.2.2 Συγκέντρωση και είδος αναγωγικών σακχάρων .....	19
2.2.3 Θερμοκρασία και χρόνος .....	20
2.2.4 pH.....	21
2.2.5 Περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες.....	22
Κεφάλαιο 3 Τοξικότητα ακρυλαμιδίου και νομοθεσία.....	23
3.1 Νευροτοξικότητα.....	23
3.2 Αναπαραγωγικές βλάβες .....	24
3.3 Καρκινογένεση και γονοτοξικότητα .....	25
3.4 Ανοσοτοξικότητα .....	26

3.5 Νομοθεσία.....	26
Κεφάλαιο 4 Τρόποι μετριασμού ακρυλαμιδίου .....	26
4. 1. Σε βιομηχανικό επίπεδο .....	27
4.1.1. Συνθήκες επεξεργασίας .....	27
4.1.2. Τεχνικές επεξεργασίας .....	28
4.1.3. Πρόσθετα.....	29
4.1.4. Ζεμάτισμα/Μπλανσάρισμα (Blanching) .....	30
4.1.5. Ζύμωση.....	31
4.1.6. Φυτικά Εκχυλίσματα .....	32
4.1.7. Παράγοντες Διόγκωσης.....	32
4.1.8. Μείωση pH .....	33
4.1.9. Οδηγός Καταναλωτών.....	33
4. 2. Σε ατομικό επίπεδο - Νοικοκυριά .....	33
4.2.1. Αποφυγή υπερβολικού ψησίματος φαγητού .....	33
4.2.2. Συνθήκες Αποθήκευσης .....	36
4.2.3. Έκπλυση με Νερό .....	37
4.2.4. Τεχνική βέλτιστου τηγανίσματος .....	38
4.2.5. Αποφυγή Τηγανίσματος.....	38
Κεφάλαιο 5 Πρακτικές Συστάσεις για μείωση σχηματισμού Ακρυλαμιδίου.....	39
5.1 Πρακτικές Συστάσεις προς τη βιομηχανία τροφίμων .....	39
5.2 Πρακτικές Συστάσεις προς τα νοικοκυριά .....	47
Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα .....	49
Βιβλιογραφία .....	51

## Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Το ακρυλαμίδιο ( $\text{CH}_2 = \text{CH}-\text{CONH}_2$ ) (AA) είναι μια σημαντική οργανική χημική ουσία, η οποία έχει ευρεία χρήση στον κλάδο της βιομηχανίας σε όλο τον κόσμο. Χρησιμοποιείται για τη σύνθεση του πολυακρυλαμιδίου, το οποίο έχει βρει εφαρμογή σε πολλούς βιομηχανικούς κλάδους. Όμως, το μονομερές ακρυλαμίδιο, το οποίο είναι παραπροϊόν της αντίδρασης Maillard, που συντίθεται στα τρόφιμα κατά τη θερμική κατεργασία τους, έχει βρεθεί ότι επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των ζώων και πιθανότατα να συνδέεται με καρκινογένεση στους ανθρώπους. Το γεγονός αυτό επεσήμανε την ανάγκη να αποκτηθεί καλύτερη κατανόηση του τρόπου δημιουργίας και διανομής του στα τρόφιμα. Έρχεται σε δημόσια και ακαδημαϊκή προσοχή λόγω των κινδύνων για τον άνθρωπο και τα ζώα. Από το 2002, το ακρυλαμίδιο λαμβάνει την προσοχή της επιστημονική κοινότητας και της κοινής γνώμης, όταν Σουηδοί επιστήμονες ανακάλυψαν ιχνοστοιχεία του σε ευρέως και συχνά καταναλώσιμα τρόφιμα, όπως τηγανιτές πατάτες, αρτοσκευάσματα, δημητριακά και καφέ. Δεδομένου ότι ταξινομείται ως πιθανώς καρκινογόνος για τον άνθρωπο από τον Διεθνή Οργανισμό Έρευνας για τον καρκίνο (IARC) (National Cancer Institute), το ακρυλαμίδιο θεωρείται σημαντικό πρόβλημα ασφάλειας των τροφίμων από τις διεθνείς αρχές. Είναι ενδιαφέρον ότι δεν βρέθηκε ακρυλαμίδιο σε ακατέργαστα και βρασμένα τρόφιμα, υποδεικνύοντας ότι ο σχηματισμός του σχετίζεται με την επεξεργασία τροφίμων. Μεταγενέστερες μελέτες διαπίστωσαν ότι το ακρυλαμίδιο σχηματίζεται σε τρόφιμα υψηλής θερμοκρασίας επεξεργασίας, όπως το μαγείρεμα, το τηγάνισμα και το ψήσιμο τροφών πλούσιων σε υδατάνθρακες, μέσω μιας αντίδρασης μεταξύ σακχάρων και αμινοξέων ασπαραγίνης γνωστής ως αντίδραση Maillard. Επομένως, η παρουσία του στις τροφές δεν είναι αποτέλεσμα ηθελημένης προσθήκης, ρύπανσης ή κάποιας νόθευσης, αλλά σχηματίζεται με χημικό τρόπο

κατά την θερμική επεξεργασία τους (τηγάνισμα, ψήσιμο). Η αντίδραση Maillard είναι αυτή που προσδίδει το χρυσαφένιο χρώμα και τη νόστιμη γεύση των ψημένων, τηγανισμένων και φρυγανισμένων τροφίμων, και με αυτή την έννοια, ο σχηματισμός του ακρυλαμιδίου είναι ένα δυσμενές παραπροϊόν της αντίδρασης αυτής.

### 1.1 Γενικά για το ακρυλαμίδιο

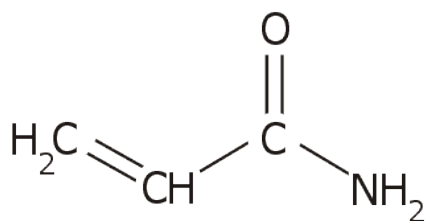
Πρόκειται για μια άοσμη λευκή κρυσταλλική, υπό μορφή σκόνης ουσία, ασύμβατη με οξέα, αλκάλια και οξειδωτικά μέσα. Αντιδρά άμεσα με οργανικές ενώσεις που περιέχουν αμινομάδες, υδροξυλομάδες και σουλφυδρυλομάδες. Όταν εκτίθεται σε υπεριώδη ακτινοβολία ή θέρμανση πολυμερίζεται με έκλυση θερμότητας γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε έντονη αντίδραση πολυμερισμού. Η αντίδραση πολυμερισμού μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί με χημικές μεθόδους, όπως π.χ. με επίδραση υπεροξειδίων και άλλων οξειδωτικών ουσιών. Για την αποφυγή λοιπόν του πολυμερισμού του ακρυλαμιδίου, πρέπει αυτό να φυλάσσεται σε ξηρό, σκοτεινό και ψυχρό μέρος.

Το ακρυλαμίδιο μπορεί να απορροφηθεί από το δέρμα και να προκαλέσει σοβαρό δερματικό ερεθισμό, γι' αυτό αν βρίσκεται σε μεγάλη ποσότητα θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή, δηλαδή πρέπει να αποφεύγεται η επαφή του με το δέρμα και η εισπνοή της σκόνης. Κατά το χειρισμό του πρέπει να τηρούνται οι συνήθεις πρακτικές ασφάλειας. Τα πειράματα σε πειραματόζωα δείχνουν ότι είναι καρκινογόνο και τερατογόνο (γονοτοξικό).

### 1.2 Χημική Δομή Ακρυλαμιδίου

Το ακρυλαμίδιο είναι χαμηλού μοριακού βάρους βινυλική ένωση. Διαλύεται εύκολα στο νερό, στην αιθανόλη, στη μεθανόλη, στον αιθέρα και την ακετόνη ενώ είναι αδιάλυτο στο επτάνιο και στο βενζόλιο. Ο μοριακός τύπος του ακρυλαμιδίου είναι  $(C_3H_5NO)$  και η ανοικτή του μορφή παρουσιάζεται στο σχήμα





### 1.3 Ιδιότητες Ακρυλαμιδίου

Μερικές από τις σημαντικότερες φυσικές ιδιότητες του ακρυλαμιδίου αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα :

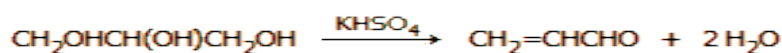
Μοριακός Τύπος:	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> NO
Μοριακό Βάρος:	71,08 g/mol
Σημείο τήξης:	84,5°C
Σημείο Βρασμού:	192.6 °C
Πυκνότητα (στους 30°C):	1,27 g/cm <sup>3</sup>
Διαλυτότητα στο νερό (στους 30°C):	2.155 g/l

**Πηγές:** (National Library of Medicine), (Wikipedia, Acrylamide), (Saboktakin, 2012).

### 1.4 Προέλευση Ονομασίας Ακρυλαμιδίου

Η ονομασία του ακρυλαμιδίου προέρχεται από την κοινή ονομασία του αντίστοιχου οξέος, δηλαδή του προπενικού οξέος, κοινή ονομασία του οποίου είναι το ακρυλικό οξύ (CH<sub>2</sub>=CHCOOH). Η ονομασία του ακρυλικού οξέος με τη σειρά της προέρχεται από την κοινή ονομασία της προπενάλης, δηλαδή την ακρολεΐνη (CH<sub>2</sub>=CHCHO). Η ακρολεΐνη είναι η απλούστερη ακόρεστη αλδεΐδη

και αποτελεί προϊόν θερμικής αφυδάτωσης της γλυκερίνης σύμφωνα με την αντίδραση:



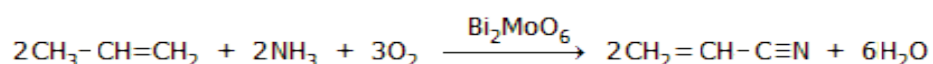
Ακρολεΐνη παράγεται κατά την θέρμανση σε υψηλές θερμοκρασίες ζωικών ή φυτικών λιπαρών υλών και στην ουσία αυτή είναι υπεύθυνη για την δυσάρεστη χαρακτηριστική οσμή του καμένου ελαίου. Η ονομασία ακρολεΐνη προέρχεται από τις λατινικές λέξεις **acer** (οξύς, δριμύς) και **olere** (οσφρίζομαι). (Wikipedia, Acroleine)

### 1.5 Παρασκευή Ακρυλαμίδιου

Το ακρυλαμίδιο παράχθηκε για πρώτη φορά στη Γερμανία το 1893 και η βιομηχανική παραγωγή άρχισε το 1954. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η ετήσια παραγωγή εκτιμάται σε 100.000 τόνους, ενώ η παγκόσμια παραγωγή εκτιμάται σε 400.000 τόνους (στοιχεία για το 2002).

Το ακρυλονιτρίλιο ( $\text{CH}_2 = \text{CH-CN}$ ), το οποίο είναι ένα βιομηχανικό προϊόν που χρησιμοποιείται για την παραγωγή πολυακρυλικών πολυμερών, αποτελεί την πρώτη ύλη για την παρασκευή ακρυλαμίδιου.

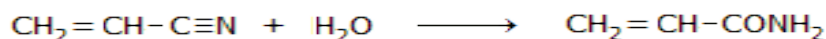
Το ακρυλονιτρίλιο παρασκευάζεται με τη μέθοδο Sohio (Sohio process), η οποία είναι γνωστή ως αντίδραση του προπυλενίου, ενός από τα κύρια προϊόντα πυρόλυσης πετρελαίου, με αμμωνία και οξυγόνο, παρουσία μολυβδαινικού βισμούθιου ως καταλύτη. Αυτή η αντίδραση ονομάζεται αντίδραση αμμωνιοξειδωσης (ammoxidation) (Ginsberg, 2007) και αντιπροσωπεύεται από τη συνολική χημική εξίσωση:



Παραπροϊόν της παραπάνω αντίδρασης είναι το ακετονιτρίλιο ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ), το οποίο πέρα από έναν εξαιρετικά πολικό διαλύτη, αποτελεί και ένα εξαιρετικά εμπορικό προϊόν. Χρησιμοποιείται ευρέως ως κινητή φάση στην υγρή

χρωματογραφία. Ανεπιθύμητα παραπροϊόντα της αντίδρασης είναι το υδροκυάνιο και οξείδια του αζώτου.

Αν το ακρυλονιτρίλιο υδρολυθεί πλήρως, δίνει ακρυλικό οξύ ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$ ), ενώ αν υδρολυθεί μερικώς και ελεγχόμενα, παράγεται ακρυλαμίδιο σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:



Η παραπάνω αντίδραση πραγματοποιείται παρουσία κραμάτων χαλκού.

## 1.6 Χρήσεις Ακρυλαμιδίου

Το ακρυλαμίδιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορων ειδών βιομηχανίες όπως της παραγωγής πλαστικών (συμπεριλαμβανομένων ορισμένων συσκευασιών τροφίμων), σε βιομηχανία παραγωγής συνθετικού καουτσούκ, στην παραγωγή ορισμένων συμπολυμερών και σε βιομηχανίες καθαρισμού του νερού. Όταν το ακρυλαμίδιο προστεθεί στο νερό θα πήξει και θα συμπυκνώσει τα παγιδευμένα αιωρούμενα στερεά, καθιστώντας τα πιο εύκολο να αφαιρεθούν κατά την επεξεργασία του πόσιμου νερού. Όταν το ακρυλαμίδιο έρθει σε επαφή με το έδαφος δεν σχηματίζει χημικές ενώσεις, αλλά εντός λίγων ημερών θα αποικοδομηθεί από τους μικροοργανισμούς που υπάρχουν στο έδαφος και το νερό. Σύμφωνα με τους κανονισμούς των ΗΠΑ (Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος), το μη συμπυκνωμένο ακρυλαμίδιο παραμένει στο νερό ως μείγμα με ανώτερο όριο 0,5 ppb (parts per billion) (WHO, 2011). Η μονομερής μορφή του ακρυλαμιδίου χρησιμοποιείται κυρίως στην εργαστηριακή έρευνα για την παρασκευή πηκτωμάτων.

Τα πηκτώματα ακρυλαμιδίου έχουν πολλές βιομηχανικές εφαρμογές. Χρησιμοποιούνται για ηλεκτροφόρηση, η οποία είναι μια τεχνική που αξιοποιεί τις επίπεδες πηκτές πολυακρυλαμιδίου προκειμένου να διαχωρίσει πρωτεΐνες και DNA. Χρησιμοποιείται επίσης για την παραγωγή χρωμάτων, την κατασκευή φραγμάτων, σιράγγων και υπονόμων. Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν την παραγωγή οργανικών χημικών προϊόντων, την παραγωγή μεταλλεύματος και επεξεργασία αργού πετρελαίου. Λόγω του μεγάλου εύρους χρήσης του

ακρυλαμιδίου, η ετήσια παραγωγή του στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) είναι 80.000 έως 100.000 τόνοι (Ötles & Ötles, 2004)

## **Κεφάλαιο 2 Βιοχημεία σχηματισμού του ακρυλαμιδίου**

Πρόσφατα ανακαλύφθηκε ότι η περιεκτικότητα σε ακρυλαμίδιο σε τροφές πλούσιες σε υδατάνθρακες, που έχουν υποστεί θερμότητα, είναι υψηλή. Έχει διεξαχθεί πολλή έρευνα για να κατανοηθεί ο τρόπος σχηματισμού του ακρυλαμιδίου. Οι αντιδράσεις τύπου Maillard έχουν αποδειχθεί ως η κύρια οδός σχηματισμού του, ιδιαίτερα παρουσία ασπαραγίνης, η οποία αποτελεί άμεσα τον πυρήνα του μορίου ακρυλαμιδίου (Motttram, Wedzicha, & Dodson, 2002) (Zyzak, et al., 2003). Ωστόσο, μια άλλη οδός σχηματισμού της αντίδρασης, που έχει προταθεί ως πρόδρομος, είναι η ακρολεΐνη που σχηματίζεται με αποικοδόμηση των οξειδωμένων λιπιδίων για να σχηματίσει ακρυλικό οξύ, το οποίο μπορεί να αντιδράσει με αμμωνία για την παραγωγή ακρυλαμιδίου. Παρακάτω παρουσιάζονται τα επίπεδα ακρυλαμιδίου σε μερικά τρόφιμα ευρείας κατανάλωσης.

**Table 4.** Acrylamide Levels in Processed Foods Listed Alphabetically

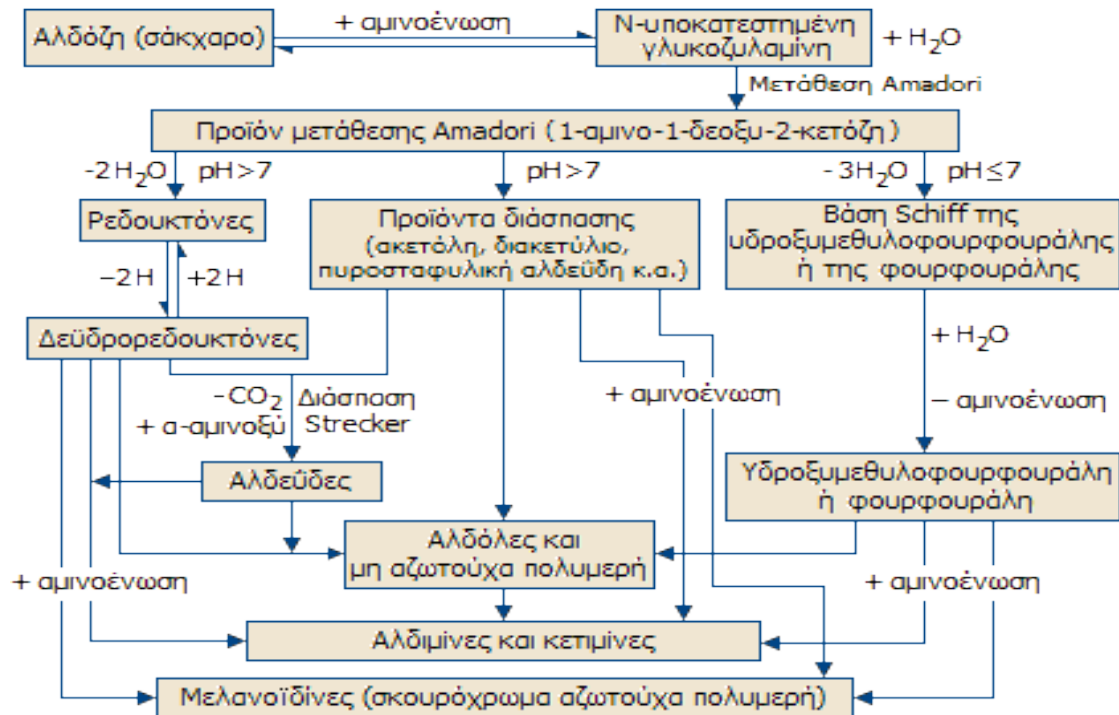
food	acrylamide <sup>a</sup> ( $\mu\text{g}/\text{kg} = \text{ppb}$ )
almonds, roasted	260
asparagus, roasted	143
baked products: bagels, breads, cakes, cookies, pretzels	70–430
beer, malt, and whey drinks	30–70
biscuits, crackers	30–3200
cereals, breakfast	30–1346
chocolate powder	15–90
coffee powder	170–351
corn chips, crisps	34–416
crispbread	800–1200
fish products	30–39
gingerbread	90–1660
meat and poultry products	30–64
onion soup and dip mix	1184
nuts and nut butter	64–457
peanuts, coated	140
potato, boiled	48
potato chips, crisps	170–3700
potato, French-fried	200–12000
potato, puffs, deep-fried	1270
snacks, other than potato	30–1915
soybeans, roasted	25
sunflower seeds, roasted	66
taco shells, cooked	559

Πηγή εικόνας: (Friedman, 2003)

## 2.1 Ακρυλαμίδιο και Αντίδραση Maillard

Η αντίδραση Maillard (Μαϊγιάρ) ή αλλιώς αντίδραση αμαύρωσης καρβονυλίου - αμινομάδας είναι μια μη - ενζυμική αντίδραση μεταξύ καρβονυλοενώσεων με αμινομάδες με αποτέλεσμα τη δημιουργία σκουρόχρωμων προϊόντων γνωστών και ως μελανοϊδίνες (Xu, et al., 2014). Λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας των τροφίμων και έχει ως θετικό αποτέλεσμα την εμφάνιση των επιθυμητών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών όπως είναι το καστανό χρώμα, η χαρακτηριστική γεύση και το άρωμα, όμως, το μειονέκτημα της είναι ότι ένα από τα προϊόντα της είναι το ακρυλαμίδιο (Eriksson, 2005).

Έχει αποδειχτεί ότι το μοντέλο α-υδρόξυ καρβονύλιο είναι πιο αποτελεσματικό από το δι-καρβονύλιο για την παραγωγή ακρυλαμιδίου, επομένως η φρουκτόζη που περιέχει δύο α-υδρόξυ ομάδες καρβονυλίου αυξάνει το σχηματισμό ακρυλαμιδίου περίπου κατά δύο φορές περισσότερο σε σύγκριση με τα υπόλοιπα αναγωγικά σάκχαρα (Xu, et al., 2014). Οι παράγοντες που καθορίζουν το ρυθμό ανάπτυξης της αντίδρασης Maillard είναι η θερμοκρασία, το είδος και η συγκέντρωση του αναγόμενου σακχάρου και της αμινοενώσεως, η ενεργότητα του νερού ( $a_w$ ), η παρουσία ιόντων χαλκού και το pH.



**Σχήμα 1:** Αντίδραση Maillard  
**Πηγή:** (Hodge, 1953)

### 2.1.1 Ασπαραγίνη

Έχει διαπιστωθεί ότι το αμινοξύ που συμβάλλει περισσότερο στην ανάπτυξη του ακρυλαμιδίου είναι η ασπαραγίνη. Μελέτες με φασματομετρία μάζας έδειξαν ότι τα τρία άτομα άνθρακα και το άτομο του αζώτου του ακρυλαμιδίου προήλθαν όλα από την ασπαραγίνη (Zyzak, et al., 2003) Παρόμοια μελέτη έκαναν και οι (Taeymans, et al., 2004) καθώς και οι (Stadler, et al., 2004), οι οποίοι χρησιμοποιώντας επισημασμένα σάκχαρα και την 15-N ασπαραγίνη απέδειξαν ότι ο σκελετός του ακρυλαμιδίου αποτελείται αποκλειστικά από άτομα του μορίου της ασπαραγίνης και όχι από τα αντίστοιχα σάκχαρα. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα επίπεδα περιεχόμενης ασπαραγίνης σε μερικά τρόφιμα.

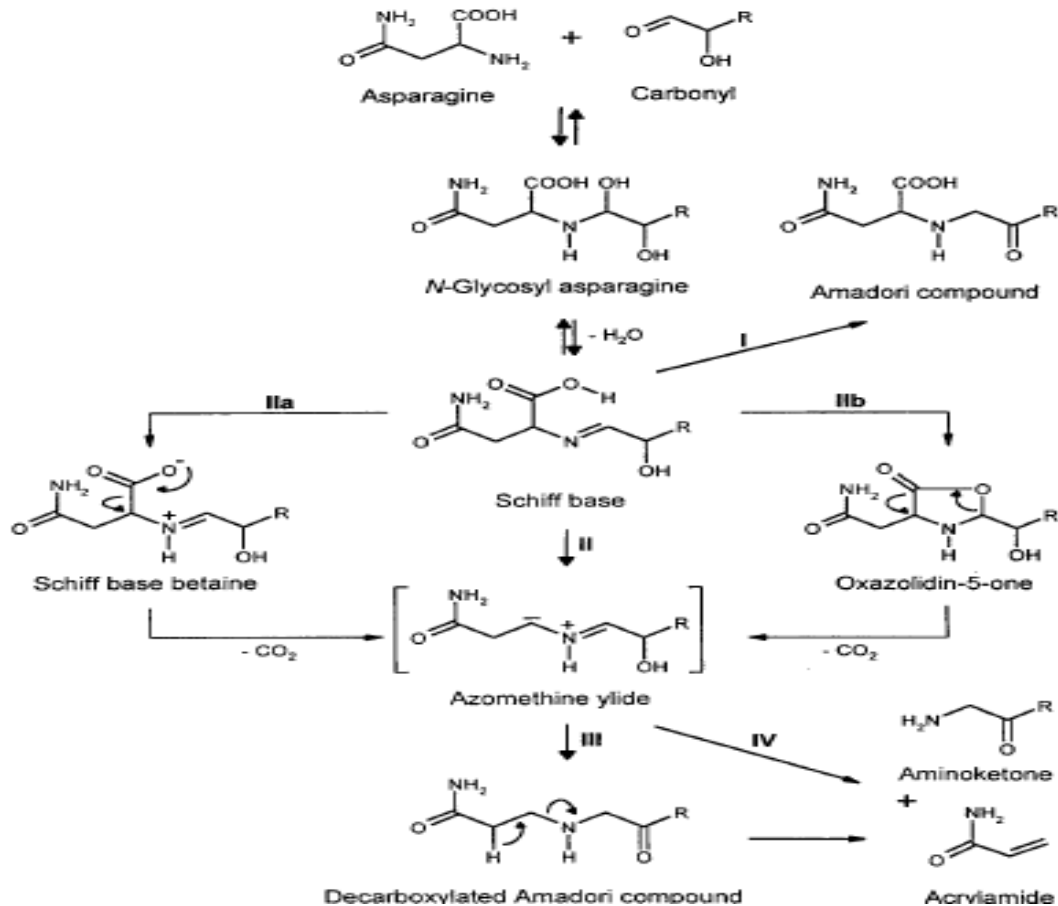
**Table 5.** Asparagine Content of Foods Listed Alphabetically

food	asparagine <sup>a</sup> (mg/kg)	refs
almonds, 19 cultivars	980–6410	252
apples, fresh pulp, 5 cultivars	315–588	63
apple juice	323	253
asparagus, dry	11000–94000	57, 58
beans, green pods, dry	3840	254
broccoli, whole, dry	1920	255
broccoli, florets, fresh	578	256
broccoli, stems, fresh	189	256
cassava, processed, dry	10	257
cauliflower, fresh	54–1060	254
cocoa powder, unroasted	309	258
cocoa, roasted (125°C, 3 min)	145	258
cocoa, roasted (135°C, 3 min)	94	258
grape juice	4	253
lentils, dry	1900–6200	60
meat, bovine	0.4	259
meat, pork	11	260
pineapple juice	247	253
potatoes, fresh, 4 varieties	2500–3500	261
potatoes, fresh	1703–2581	262
potatoes, dry	580–3300	254
potatoes, dry	7700	263
rice, milled	29	264
rice, bran	282	264
rice, germ	236	264
spinach, dry	460–1470	254
wheat grain	1540	265
wines	0.67–27	266

Πηγή εικόνας: (Friedman, 2015)

### 2.1.2 Μηχανισμός ασπαραγίνης- γλυκόζης μέσω Maillard για το σχηματισμό ακρυλαμιδίου

Οι (Blank, et al., 2005) με τα πειράματά τους επιβεβαίωσαν την επίδραση των ενδιάμεσων προϊόντων στα αρχικά στάδια της αντίδρασης Maillard για το σχηματισμό του ακρυλαμιδίου, δηλαδή του N- γλυκοζίτη που παράγεται από την ασπαραγίνη και τα σάκχαρα (Stadler, et al., 2004), της αντίστοιχης αποκαρβονυλιωμένης βάσης Schiff (Zyzak, et al., 2003) και του προϊόντος Amadori (Yaylayan, Wnorowski, & Locas, 2003). Αναλυτικά, με βάση τον προτεινόμενο μηχανισμό των (Stadler, et al., 2004), η διαδικασία περιγράφεται ως εξής :



**Σχήμα 2:** Μηχανισμός παραγωγής του ακρυλαμιδίου από ασπαραγίνη και μία καρβονυλομάδα (Stadler, et al., 2004)

Το βασικό πρώτο βήμα είναι η αντίδραση μεταξύ ασπαραγίνης και καρβονυλίου, (κατά προτίμηση κάποιου α-υδροξυ-καρβονυλίου), που έχει σαν αποτέλεσμα το συζευγμένο ενδιάμεσο, το οποίο κάτω από συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας υδρολύεται και σχηματίζει τη βάση Schiff. Εάν η υγρασία βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα, και ο N-γλυκοζίτης αλλά και η βάση Schiff είναι σταθερά. Σε υψηλής υγρασίας όμως συστήματα, η βάση Schiff μπορεί να υδρολυθεί στις πρόδρομες ενώσεις της ή να αναδιαταχθεί σε προϊόν *Amadori* (Σχήμα 2 path I), που δεν οδηγεί απαραίτητα στο σχηματισμό ακρυλαμιδίου, αλλά ακόμη και υπό συνθήκες χαμηλή υγρασίας, αυτό είναι το κύριο προϊόν που στη συνέχεια οδηγεί στο σχηματισμό των 1- και 3- δεοξυσοσόνες (deoxyosones) (Arvanitoyannis & Dionisopoulou, 2014). Οι δεοξυσοσόνες στη συνέχεια, αποσυντίθενται και δίνουν χρώμα και άρωμα.



Εναλλακτικά, η βάση Schiff μπορεί να αποκαρβοξυλιωθεί σε ένα ενδιάμεσο προϊόν, το azomethine ylide (Σχήμα 2 path II), που παρουσιάζει δύο σταθερές δομές συντονισμού, η μία εκ των οποίων οδηγεί στο αποκαρβοξυλιωμένη ένωση *Amadori* (Σχήμα 2, path III). Προϋπόθεση της αντίδρασης αυτής είναι η παρουσία μια υδροξυλομάδας στη β θέση ως προς το άτομο του αζώτου στη βάση του Schiff. Γι' αυτό και αντιδρώντα όπως 1-υδρόξυ-κετόνες (π.χ. φρουκτόζη, ακετόλη) και 2-υδρόξυαλδεΐδες (π.χ. γλυκόζη, 2-υδρόξυ-1-βουτανάλη) παράγουν περισσότερο ακρυλαμίδιο σε σχέση με τις αδικαρβονυλικές ενώσεις. Η αποκαρβοξυλίωση της βάσης Schiff σε αζωμεθινικό υλίδιο (azomethineylide) μέσω της διαδρομής (path) IIa, θεωρείται πιο πιθανή σε σχέση με τον κλασικό μηχανισμό αποικοδόμησης Strecker. Εναλλακτικά, μέσω της διαδρομής IIb, η βάση Schiff μπορεί να κυκλοποιηθεί. Τα προϊόντα και των δύο αυτών αντιδράσεων μπορούν να αποκαρβοξυλιωθούν και να οδηγηθούν ξανά στο προϊόν *Amadori* (Σχήμα 2, path III). Στη συνέχεια απελευθερώνεται ακρυλαμίδιο μαζί με μία αμινοκετόνη, μέσω μιας αντίδρασης β-απαλοιφής και διαχωρισμού του δεσμού άνθρακα-αζώτου (Blank, et al., 2005).

### 2.1.3 Σχηματισμός μέσω της ακρολεΐνης

Το ακρυλαμίδιο μπορεί να σχηματιστεί επίσης μέσω του ακρυλικού οξέος και με τη παρουσία αμμωνίας. Το ακρυλικό οξύ παράγεται από την ακρολεΐνη (όπως αναφέρθηκε και παραπάνω), η οποία μπορεί να σχηματιστεί με θερμική οξείδωση των λιπαρών οξέων ή θερμική αφυδάτωση της γλυκερόλης. Η ακρολεΐνη αυξάνεται καθώς αυξάνεται και η ακορεστότητα των ελαίων (Zhang, Fang, & Zhang, 2008). Πιο συγκεκριμένα, με τη θέρμανση των ελαίων πάνω από το σημείο καπνού τους, η γλυκερόλη υποβαθμίζεται σε ακρολεΐνη. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τα σημεία καπνού ορισμένων από τα πιο συνηθισμένα έλαια. Το έλαιο υδρολύεται πρώτα σε γλυκερόλη και λιπαρά οξέα και στη συνέχεια η ακρολεΐνη παράγεται από την αφυδάτωση της γλυκερόλης.

**Πίνακας 1:** Ευρέως καταναλώσιμα έλαια και τα σημεία καπνού τους (°C)

Έλαιο	Σημείο καπνού (°C)
Φοινικέλαιο	240
Φυστικέλαιο	220
Ελαιόλαδο	210
Ηλιέλαιο & Σογιέλαιο	170
Καλαμποκέλαιο	160
Μαργαρίνη	150
Βούτυρο	110

**Πηγή πίνακα:** (Taeymans, et al., 2004) (Becalski, P-Y Lau, Lewis, & Seaman, 2003)

Παράλληλα, το ακρυλικό οξύ μπορεί να παραχθεί μέσω της αντίδρασης Maillard , είτε από ασπαρτικό οξύ με μια αντίδραση ανάλογη με αυτή που περιγράφεται από τους (Yaylayan, Wnorowski, & Locas, 2003) για το σχηματισμό του ακρυλαμιδίου, είτε μέσω των προϊόντων του μηχανισμού αποικοδόμησης Strecker συμπεριλαμβάνοντας την 2-προπενάλη. Στην τελευταία περίπτωση, η παρουσία του ελεύθερου ασπαρτικού οξέος είναι απαραίτητη για την παραγωγή του ακρυλικού οξέος μαζί με μια πηγή καρβονυλίου.

#### 2.1.4. Σχηματισμός ακρυλαμιδίου μέσω αντιδράσεων αμινοξέων που δεν περιλαμβάνουν την ακρολεΐνη

Υπάρχουν πολλοί μηχανισμοί με τους οποίους τα αμινοξέα (ή οι πρωτεΐνες) μπορούν να σχηματίσουν ακρυλαμίδιο χωρίς να περάσουν από το στάδιο της ακρολεΐνης. Αυτό συμβαίνει κάτω από πολύπλοκους μηχανισμούς και αντιδράσεις που περιλαμβάνουν πολλά διαφορετικά στάδια όπως υδρόλυση, αναδιάταξη, αποκαρβοξυλίωση και απαμίνωση.

Μερικά παραδείγματα των διαδρομών αντίδρασης που έχουν προταθεί είναι και η αποκαρβοξυλίωση και η απαμίνωση της ασπαραγίνης καθώς και οι

μετασηματισμοί δεϋδροαλανινών (που σχηματίζονται από τη σερίνη ή τη κυστεΐνη).

## 2.2 Παράγοντες που επιδρούν στην Maillard και το σχηματισμό ακρυλαμιδίου

### 2.2.1 Υγρασία και ενεργότητα νερού

Ο ρόλος του νερού στην αντίδραση Maillard είναι διπλός. Με άλλα λόγια, συμμετέχει και ως αντιδρών αλλά και ως μέσο μεταφορικό για τα υπόλοιπα αντιδρώντα. Στο αρχικό στάδιο της αντίδρασης, 3 mol νερού σχηματίζονται για κάθε mol υδρογονάνθρακα. Ως εκ τούτου, καταλαβαίνουμε ότι η αντίδραση δεν ευνοείται σε περιβάλλον με υψηλή ενεργότητα νερού. Αν και το νερό μπορεί να καταστέλλει την αρχική αντίδραση σχηματισμού γλυκοζυλαμίνης, στη συνέχεια όμως ενισχύει την απαμίνωση για την αντίδραση παραγωγής του ακρυλαμιδίου. Από την άλλη, όταν η υγρασία είναι πολύ χαμηλή, είναι χαμηλή και η κινητικότητα του αντιδρώντος επομένως η αντίδραση αναστέλλεται. Μελετήθηκε η «χημικά» ιδανική συγκέντρωση νερού, η δραστηριότητα του νερού και η σχετική υγρασία του συστήματος μοντέλου, και συνήχθη το συμπέρασμα ότι εξαρτώνται από τα αντιδρώντα αλλά και από τους δείκτες που χρησιμοποιούμε για την αντίδραση Maillard (είτε την απώλεια της λυσίνης, είτε την ένταση της αμαύρωσης). Τέλος καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η ιδανική ενεργότητα ύδατος κυμαίνεται μεταξύ 0,3 και 0,7 (Eichner & Karel, 1972).

### 2.2.2 Συγκέντρωση και είδος αναγωγικών σακχάρων

Για να πραγματοποιηθεί η αντίδραση Maillard, απαραίτητη είναι η παρουσία σακχάρων. Η αντιδραστικότητα των διαφορετικών σακχάρων μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως εξής:

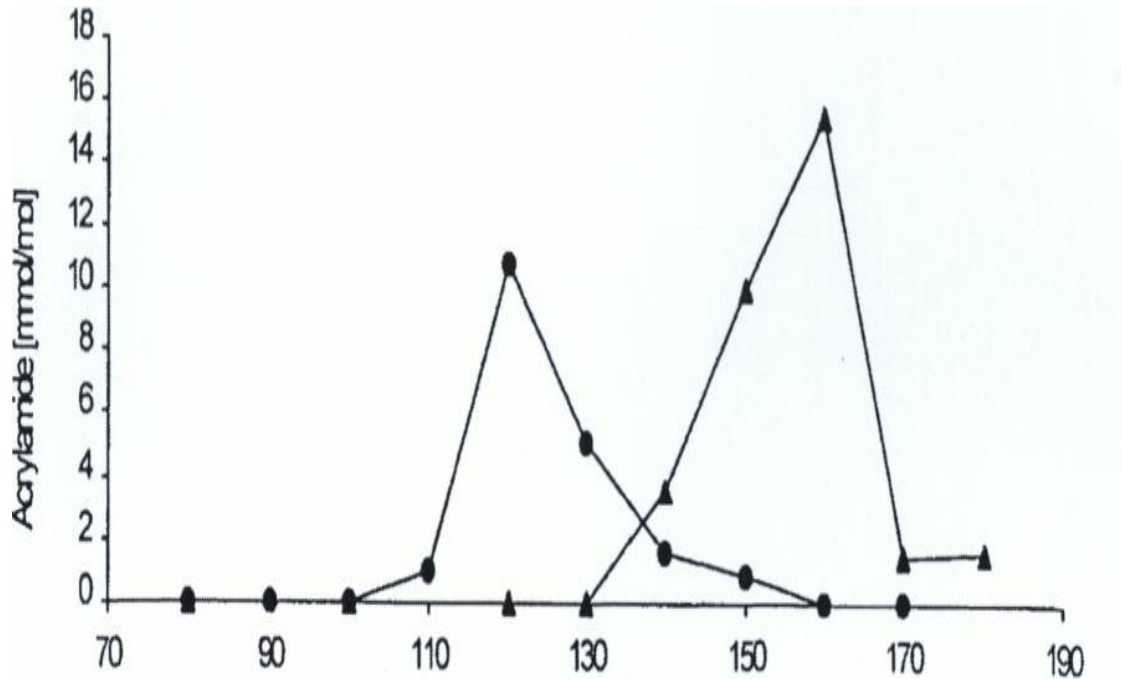
1. Όσο μικρότερη είναι η ανθρακική αλυσίδα του σακχάρου, τόσο περισσότερο ακρυλαμίδιο παράγεται. Γενικότερα, όσο μικρότερη είναι η ανθρακική αλυσίδα του σακχάρου, τόσο πιο εύκολο είναι να αντιδράσει. Το μόριο αναγκάζεται να πάρει τη δομή κυκλικής ημιακετάλης και επομένως το καρβονύλιο αντιδρά πιο εύκολα με την α- αμίνη π.χ. της ασπαραγίνης.
2. Οι πεντόζες είναι πιο δραστικές από τις εξόζες και τους δισακχαρίτες στην παραγωγικότητα του καστανού χρώματος.
3. Οι αλδόζες είναι πιο αντιδραστικές από τις κετόζες και σε υδατικά διαλύματα αλλά και σε περιβάλλον με χαμηλότερη υγρασία.
4. Συγκρίνοντας ισομερή σάκχαρα, σημαντικό ρόλο παίζει και η στερεοχημεία τους

Πιο συγκεκριμένα, έχει μελετηθεί η επίδραση των διαφορετικών σακχάρων στην παραγωγή του ακρυλαμιδίου. Οι (Taeymans, et al., 2004) συγκρίνοντας την αντίδραση της φρουκτόζης, της σουκρόζης και της γλυκόζης με την ασπαραγίνη σε δείγματα αλεύρου σίτου, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι όλα τα σάκχαρα παρήγαγαν ακρυλαμίδιο και τη μεγαλύτερη συγκέντρωση την έδωσε η φρουκτόζη (Πίνακας 2). Όμως στα αποτελέσματα αυτά κατέληξαν και άλλοι ερευνητές όπως είναι οι (Stadler, et al., 2004) και οι (Yaylayan, Wnorowski, & Locas, 2003). Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι για παράδειγμα σε δείγματα πατάτας, η συγκέντρωση ακρυλαμιδίου αυξάνεται γραμμικά με την αύξηση της γλυκόζης ή της φρουκτόζης όταν η συγκέντρωσή τους παραμένει κάτω από το 3% περίπου (Taeymans, et al., 2004).

### 2.2.3 Θερμοκρασία και χρόνος

Η εξάρτηση των χημικών αντιδράσεων από τη θερμοκρασία εκφράζεται συνήθως με την ενέργεια ενεργοποίησης της εξίσωσης Arrhenius. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή της, τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός της αντίδρασης από τη θερμοκρασία. Η ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης Maillard

κυμαίνονται από 10 έως 160 kJ/mol και εξαρτάται από το pH και την ενεργότητα του νερού του συστήματος αντίδρασης (Blank, et al., 2005)



Σχηματισμός ακρυλαμιδίου κατά τη θέρμανση ισομοριακού μίγματος ασπαραγίνης και γλυκόζης για 5 και 60 λεπτά.

Πηγή εικόνας: (Blank, et al., 2005)

#### 2.2.4 pH

Ο σχηματισμός του ακρυλαμιδίου εξαρτάται από το pH όπως ακριβώς και η αντίδραση Maillard. Η αντιδραστικότητα των σακχάρων όσο και των αμινομάδων επηρεάζονται από το pH. Το υψηλό pH ευνοεί την μορφή ανοιχτής αλυσίδας του σακχάρου και την μη πρωτονιομένη μορφή της αμινομάδας. Το προτεινόμενο ιδανικό pH είναι μεταξύ 7- 8 (Friedman, 2003). Σύμφωνα με μελέτη, ο σχηματισμός του ακρυλαμιδίου μειώνεται κατά 99 % σε σύστημα ασπαραγίνης - γλυκόζης με μείωση του pH του ρυθμιστικού διαλύματος των φωσφορικών από 7 σε 4. Με τη μείωση του pH οι ελεύθερες μη πρωτονιομένες

αμινομάδες της ασπαραγίνης μετατρέπονται σε πρωτονιομένες αμίνες (-NH<sub>3</sub><sup>+</sup>) και έτσι μπλοκάρεται ο σχηματισμός της βάσης Schiff, που είναι ένα βασικό βήμα για το σχηματισμό του ακρυλαμιδίου. Έρευνα που των (Pedreschi, Kaack, & Granby, 2004), η οποία πραγματοποιήθηκε σε φέτες πατάτας οι οποίες εμποτίστηκαν σε διαλύματα 1 και 2% κιτρικού οξέος και έπειτα τηγανίστηκαν στους 150 °C έδειξε ότι από τα δείγματα που εμβαπτίστηκαν σε κιτρικό οξύ, τα σάκχαρα και η ασπαραγίνη δεν φάνηκε να επηρεάστηκαν, οπότε η μείωση του ακρυλαμιδίου οφείλεται κυρίως στην μείωση του pH. Ωστόσο, όταν η θερμοκρασία τηγανίσματος αυξήθηκε στους 170°C και 190°C, το κιτρικό οξύ δεν φάνηκε να επηρέασε την περιεκτικότητα σε ακρυλαμίδιο. Ένα αρνητικό της εμβάπτισης τροφίμων σε διάλυμα κιτρικού οξέως είναι ότι εάν μια οποιαδήποτε από τις διαδικασίες δεν ακολουθηθεί πιστά, μπορεί να οξύνει ή να αλλάξει το χρώμα και την υφή του τροφίμου αλλά και να το υποβαθμίσει ποιοτικά (τάγγισμα).

### 2.2.5 Περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες

Το ακρυλαμίδιο μετρήθηκε σε διάφορα τρόφιμα και φάνηκε ότι η περιεκτικότητά του στα προϊόντα κρέατος είναι πολύ χαμηλότερη. Αυτό οφείλεται σε συνδυασμό παραγόντων όπως ότι είναι τρόφιμα υψηλής υγρασίας, ότι περιέχουν σχετικά πιο μικρή ποσότητα ασπαραγίνης και ότι έχουν πολλές πρωτεΐνες με τις οποίες συνδέεται το ακρυλαμίδιο μετά την παραγωγή του. Ταυτόχρονα, άλλες μελέτες έχουν δείξει ότι η προσθήκη άλλων αμινοξέων στο σύστημα ασπαραγίνης - γλυκόζης θα μειώσει την παραγωγή ακρυλαμιδίου. (Biedermann, Biedermann-Brem, Noti, & Grob, 2002). Επιπλέον, όσον αφορά τη συσχέτιση του χρώματος που προκαλείται από την αντίδραση Maillard με το σχηματισμό ακρυλαμιδίου προέκυψε το συμπέρασμα ότι το χρώμα μπορεί να είναι ένας καλός δείκτης της περιεκτικότητας ακρυλαμιδίου σε ορισμένα συστήματα, αλλά όχι στην προκειμένη περίπτωση των πρωτεϊνών (Friedman, Chemistry, Biochemistry, and Safety of Acrylamide. A Review, 2003).

## Κεφάλαιο 3

### Τοξικότητα ακρυλαμιδίου και νομοθεσία

Η απορρόφηση του ακρυλαμιδίου από ανθρώπινο οργανισμό, μπορεί να γίνει μέσω του δέρματος, του αναπνευστικού και πεπτικού συστήματος. Μετά την κατάποση, το ακρυλαμίδιο διανέμεται σε διαφορετικούς ιστούς (Calleman, 1996). Πειράματα που έχουν γίνει σε αρουραίους, έδειξαν ότι τα υψηλότερα επίπεδα του ακρυλαμιδίου βρέθηκαν σε μυς (48%), στο δέρμα (15%), στο αίμα (12%) και στο ήπαρ (7%), ενώ λιγότερο από 1% εντοπίστηκε στον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό (Miller, Carter, & Sipes, 1982). Το ακρυλαμίδιο προκαλεί οξείες τοξικές επιδράσεις όταν υπερβεί τα 100 mg/kg σωματικού βάρους, ενώ οι θανατηφόρες δόσεις είναι συνήθως υψηλότερες από 150 mg/kg σωματικού βάρους. Ωστόσο, δεν έχει αποδειχθεί ακόμη τέτοιος βαθμός τοξικότητας του ακρυλαμιδίου στον άνθρωπο, από πρόσληψη τροφής, που να οδηγεί σε ακαριαίο θάνατο, αλλά οι όποιες επιπτώσεις του οφείλονται σε συσσωρευτική δράση και μακροχρόνια έκθεση σε αυτό. Παρόλα αυτά έχει πραγματοποιηθεί και συνεχίζει να πραγματοποιείται πλήθος επιδημιολογικών μελετών για να διαπιστωθεί εάν πράγματι υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης νεοπλασιών ή νευροεκφυλιστικών ασθενειών από την κατανάλωση αμυλούχων τροφίμων που περιέχουν ακρυλαμίδιο. Το 35-40% των θερμίδων που καταναλώνει ο άνθρωπος προέρχεται από αμυλούχες τροφές, οπότε εκτιμάται ότι μέσω της διατροφής του προσλαμβάνει 0,5 μg ακρυλαμιδίου ανά kg σωματικού βάρους την ημέρα, ενώ τα παιδιά και τα βρέφη προσλαμβάνουν λίγο μεγαλύτερες ποσότητες αναλογικά του χαμηλού σωματικού βάρους και της τροφής που καταναλώνουν (Zamani, Shokrzadeh, Fallah, & Shaki, 2017).

#### 3.1 Νευροτοξικότητα

Επιδημιολογικές μελέτες που έχουν διεξαχθεί σε ανθρώπους με βιομηχανική ή τυχαία έκθεση στο ακρυλαμίδιο, υποστηρίζουν ότι το πρωταρχικό σημείο εκδήλωσης της τοξικότητας στους ανθρώπους είναι το νευρικό σύστημα. Σε πειραματόζωα, το επίπεδο μη παρατηρούμενης δυσμενούς επίδρασης (no-

observed-adverse-effect level, NOAEL) για την νευροτοξικότητα του ακρυλαμιδίου κυμαίνεται από 0,2-0,5 µg/kg ημερησίως, ενώ το χαμηλότερο παρατηρήσιμο δυσμενές επίπεδο επίδρασης (lowest-observable-adverse effect level, LOAEL) είναι 2 µg/kg ημερησίως. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) εκτιμά ότι η μέση διατροφική έκθεση σε ακρυλαμίδιο ημερησίως δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0, 001 mg/kg (WHO, 1985). Μελέτες σε διαφόρων ειδών πειραματόζωα, έδειξαν ότι η καθημερινή και επαναλαμβανόμενη έκθεση σε ακρυλαμίδιο, μπορεί να προκαλέσει αταξία, μυρμήγκιασμα, αδυναμία και μούδιασμα στα άκρα, ενώ σε πιο σοβαρές περιπτώσεις παρεγκεφαλιδική δυσλειτουργία ακολουθούμενη από νευροπάθεια (Xu, et al., 2014). Παρ' όλα αυτά, τα χαμηλά επίπεδα πρόσληψης που εκτιμάται ότι λαμβάνει ο άνθρωπος, δεν έχουν συσχετιστεί ακόμα με νευροτοξικές επιδράσεις. Απαιτείται περαιτέρω επιδημιολογική έρευνα και χρόνιες εκθέσεις του ανθρώπου σε μικρές ποσότητες για τον προσδιορισμό συσσωρευτικών επιδράσεων του ακρυλαμιδίου στο ανθρώπινο νευρικό σύστημα.

### 3.2 Αναπαραγωγικές βλάβες

Μελέτες που διεξήχθησαν σε τρωκτικά για την αξιολόγηση της τοξικότητας του ακρυλαμιδίου, που τράφηκαν με ακρυλαμίδιο για 6 βδομάδες, έδειξαν ότι τα αρσενικά παρουσίασαν μειωμένο αριθμό σπερματοζωαρίων ενώ τα θηλυκά παρουσίασαν μείωση του βάρους των ωοθηκών και ανάπτυξη ωοκυττάρων. Επίσης, τα θηλυκά που υποβλήθηκαν στην αγωγή, παρουσίασαν πρόωμη απόπτωση και μειωμένη ποιότητα ωοκυττάρων και γονιμότητας. Τα ωοκύτταρα που υπέστησαν επεξεργασία με ακρυλαμίδιο παρουσίασαν μειωμένη μειωτική διαίρεση και ρήξη των χρωμοσωμάτων. (Aras, Cakar, Ozkanukcu, Can, & Cinar, 2017). Δεν υπάρχουν σαφή στοιχεία σχετικά με την αναπαραγωγική τοξικότητα του ακρυλαμιδίου στον άνθρωπο. Το επίπεδο μη παρατηρούμενης δυσμενούς επίδρασης (NOAEL) της τοξικότητας του ακρυλαμιδίου στην αναπαραγωγική ικανότητα εκτιμήθηκε ότι είναι 2-5 µg/kg ανά ημέρα σε τρωκτικά. Αυτή η δόση είναι τουλάχιστον 4 φορές υψηλότερη από



την δόση που απαιτείται για να προκληθεί νευροτοξικότητα και 2000 φορές υψηλότερη από την εκτιμώμενη διατροφική πρόσληψη (Zamani, Shokrzadeh, Fallah, & Shaki, 2017).

### 3.3 Καρκινογένεση και γονοτοξικότητα

Ο IARC (International Agency for Research on Cancer) έχει ταξινομήσει το ακρυλαμίδιο ως «πιθανή καρκινογόνο ουσία για τον άνθρωπο» και το έχει κατηγοριοποιήσει στο Group 2A με το δεδομένο ότι ακόμη υπάρχουν ανεπαρκή σημεία αναφοράς για να καταταγεί η ουσία αυτή στο Group 1 (παράγοντας καρκινογόνος για τον άνθρωπο), αλλά ταυτόχρονα υπάρχουν αρκετά δεδομένα που δεικνύουν καρκινογένεση στα ζώα, ούτως ώστε να καταταγεί σε κατηγορία ανώτερη του Group 2B (δυνατός - possible καρκινογόνος παράγοντας για τον άνθρωπο). (FAO/WHO, 2002). Η δομή του ακρυλαμιδίου είναι παρόμοια με εκείνη καρκινογόνων ενώσεων, όπως καρβαμικό βυνύλιο και ακρυλονιτρίλιο. Πειραματόζωα και των δύο φύλων που εκτέθηκαν σε υψηλές συγκεντρώσεις ακρυλαμιδίου στο πόσιμο νερό, εμφάνισαν πολλαπλούς όγκους σε πολλαπλά σημεία του σώματος (Exon, 2006). Επιστημονικές μελέτες που πραγματοποιούνται μέχρι σήμερα, συσχετίζουν το ακρυλαμίδιο με τον καρκίνο νεφρού και μαστού στις μετεμμηνοπαυσιακές γυναίκες, καθώς και με τον καρκίνο των νεφρικών κυττάρων (Besaratnia & Pfeifer, 2004), ενώ δεν υπάρχει επιβεβαιωμένη συσχέτιση με τον κίνδυνο καρκίνου του προστάτη και της ουροδόχου κύστης. Επιπρόσθετα, αυτό που έχει τραβήξει την προσοχή των ερευνητών είναι η ικανότητα πρόκλησης γενετικής βλάβης. Το ακρυλαμίδιο θεωρείται ικανό να βλάψει το γενετικό υλικό, καθώς μελέτες έδειξαν πως σε δόση 10, 20 και 30 mg/kg προκάλεσε σημαντική βλάβη στο DNA (Alzahrani, 2011).

### 3.4 Ανοσοτοξικότητα

Επιδημιολογικές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί και πειράματα σε τρωκτικά, έδειξαν ότι το ακρυλαμίδιο προκάλεσε ανασταλτική επίδραση στην κυτταρική και την χυμική ανοσία ποντικών μετά από σίτιση 30 ημερών. Πιο συγκεκριμένα, το τελικό σωματικό βάρος, το βάρος της σπλήνας και του θύμου αδένα, καθώς και ο αριθμός των λεμφοκυττάρων μειώθηκαν σημαντικά, ενώ παθολογικές αλλαγές παρατηρήθηκαν στους λεμφαδένες, στον θύμο αδένα και την σπλήνα (Fang, Liang, Jia, & Li, 2014). Επιπλέον, παρατηρήθηκε μείωση των Τ λεμφοκυττάρων και των NK κυττάρων (Natural Killer cells).

### 3.5 Νομοθεσία

Μέχρι σήμερα, στη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης δεν έχουν τεθεί ανώτατα επιτρεπτά επίπεδα για το ακρυλαμίδιο στα τρόφιμα. Τα μόνα όρια που υπάρχουν αναφέρονται στο πόσιμο νερό. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health Organization) έχει θέσει ως όριο τα 0,5 μg/L νερού (WHO, 2011). Στην Ευρωπαϊκή Ένωση το νόμιμο όριο που έχει οριστεί είναι πλέον 0,1 μg/L (Οδηγία (ΕΕ) 2020/2184). Παρόλα αυτά, θεωρείται απαραίτητο τόσο η βιομηχανία τροφίμων όσο και τα νοικοκυριά να αλλάξουν τις αντίστοιχες μεθόδους παρασκευής και μαγειρέματος των τροφίμων για να μειώσουν το επίπεδο σχηματισμού του ακρυλαμιδίου όσο το δυνατόν περισσότερο.

## Κεφάλαιο 4

### Τρόποι μετριασμού ακρυλαμιδίου

Παρόλο που το ακρυλαμίδιο είναι μια σχετικά πρόσφατα ανιχνευμένη ουσία, από το 2002 που επιβεβαιώθηκε η ύπαρξη του στα τρόφιμα, έχουν γίνει εντατικές προσπάθειες ανάπτυξης και σχεδιασμού μεθόδων μείωσης της συγκέντρωσής του.

Δεδομένου ότι η παραγωγή ακρυλαμιδίου είναι το παραπροϊόν της αντίδρασης Maillard, η οποία με τη σειρά της είναι απαραίτητη για το χρώμα, τη γεύση, την υφή και το άρωμα του τροφίμου, η μεγάλη πρόκληση είναι να μειωθεί το

ακρυλαμίδιο στα τρόφιμα όσο το δυνατόν περισσότερο, διατηρώντας παράλληλα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου.

## 4. 1. Σε βιομηχανικό επίπεδο

### 4.1.1. Συνθήκες επεξεργασίας

Η θερμική επεξεργασία (ψήσιμο, τηγάνισμα κλπ) αποτελεί τον πιο κοινό τύπο επεξεργασίας τροφίμων. Δεδομένου ότι ο σχηματισμός ακρυλαμιδίου ξεκινά (από τις πρόδρομες ουσίες του) με θερμότητα, πολλοί ερευνητές προβληματίζονται για την επίδραση των μεταβλητών θερμικής επεξεργασίας (δηλ. της θερμοκρασίας και του χρόνου επεξεργασίας) (Maan, et al., 2020). Ο (Williams, 2005) διαπίστωσε ότι ο συνδυασμός χρόνου- θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος ήταν καθοριστικός παράγοντας (μεταξύ άλλων και ο τύπος ελαίου τηγανίσματος ή ποικιλία τροφίμου) που επηρεάζει τον σχηματισμό ακρυλαμιδίου σε πατάτες. Οι (Daniali, Jinar, Sanny, & Tan, 2018) διερεύνησαν τον σχηματισμό ακρυλαμιδίου χρησιμοποιώντας ελαϊκό φοινικέλαιο και σογιέλαιο σε διαφορετικούς χρόνους και θερμοκρασίες και παρατήρησαν ότι η μέγιστη ποσότητα ακρυλαμιδίου που παράχθηκε ήταν στο σημείο που και τα δύο έλαια θερμάνθηκαν για 7,5 λεπτά στους 200 °C, ενώ η ελάχιστη ποσότητα που παράχθηκε ήταν στους 160°C για 1,5 λεπτό. Οι (Matthäus, Haase, & Vosmann, 2004) αναφέρουν ότι η χρονική διάρκεια ψησίματος είναι ο βασικός παράγοντας σχηματισμού ακρυλαμιδίου, ειδικά σε θερμοκρασίες τηγανίσματος άνω των 175°C, ενώ σε θερμοκρασίες άνω των 180-190°C παρατήρησαν πολύ μεγάλη αύξηση του ακρυλαμιδίου συγκριτικά με θερμοκρασίες 170°C και κάτω. Αντίστοιχη έρευνα των (Claus, Mongili, Weisz, Schieber, & Carle, 2008) που έγινε πάνω στις αισθητικές ιδιότητες του ψωμιού και της θερμοκρασίας ψησίματος, κατέληξε σε παρόμοια αποτελέσματα σχετικά με τις περιεκτικότητες ακρυλαμιδίου και τους χρόνους ψησίματος, μετρώντας πολύ περισσότερη ποσότητας ακρυλαμιδίου σε ψωμί που ψήθηκε στους 240°C για 50 λεπτά, έναντι αυτού που ψήθηκε στους 200°C για 70 λεπτά.

Η προσεκτική επιλογή μεταβλητών επεξεργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποτελεσματικό εργαλείο για τη μείωση του ακρυλαμιδίου σε θερμικά

επεξεργασμένα τρόφιμα (Maan, et al., 2020). Αλλαγές στις μεταβλητές της διαδικασίας μπορεί να προκαλέσουν μικροαλλαγές στα αισθητήρια χαρακτηριστικά του προϊόντος. Ωστόσο, επιλέγοντας προσεκτικά τον χρόνο και τη θερμοκρασία ψήσιματος, η περιεκτικότητα σε ακρυλαμίδιο του προϊόντος μπορεί να μειωθεί χωρίς να απαιτείται διαπραγμάτευση της ποιότητας. Κατά την επίλυση του περιεχομένου ακρυλαμιδίου και των αισθητηριακών χαρακτηριστικών του προϊόντος, η βελτιστοποίηση της διαδικασίας θα πρέπει να αποτελεί προϋπόθεση για την υιοθέτηση τέτοιων μεθόδων (Maan, et al., 2020).

#### 4.1.2. Τεχνικές επεξεργασίας

Πολλές είναι οι μέθοδοι που έχουν προταθεί και αναφερθεί για τον μετριασμό του ακρυλαμιδίου στα προϊόντα τροφίμων. Οι (Erdoğdu, Palazoğlu, Gökmen, Şenyuva, & Ekiz, 2006) διερεύνησαν την επίδραση των μικροκυμάτων σε προϊόντα Γαλλικής πατάτας για 10, 20 και 30 δευτερόλεπτα σε 840W ισχύος και επακόλουθο τηγάνισμα στους 190°C, 170°C, και 150°C. Κατέγραψαν αξιοσημείωτη ποσότητα μείωσης του ακρυλαμιδίου στην επιφάνεια των δειγμάτων, ενώ στον εσωτερικό πυρήνα εντοπίστηκε μια μικρή αύξηση. Ένας άλλος τρόπος που έχει αναφερθεί για την μείωση του ακρυλαμιδίου είναι το ψήσιμο σε κενό αέρος συνδυαζόμενο με μετέπειτα τηγάνισμα. Οι (Anese, Suman, & Nicolì, 2010) ανέφεραν 43% μείωση σε μπισκότα και 18% σε πατατάκια συνδυάζοντας το κενό με το ψήσιμο και το τηγάνισμα αντίστοιχα. Παρόμοια αποτελέσματα για αυτόν τον συνδυασμό ψήσιματος έχουν δώσει και οι (Palazoğlu, Coşkun, Tuta, Mogol, & Gökmen, 2015) αναφέροντας μείωση του ακρυλαμιδίου της τάξης του 94% σε προϊόντα πατάτας. Επιπλέον, μελέτη που διεξήγαγαν οι (Antunes-Rohling, Ciudad-Hidalgo, Mir-Bel, Raso, Cebrián, & Álvarez, 2018) εφαρμόζοντας υπερήχους υψηλής έντασης σε βυθισμένες στο νερό πατάτες που έπειτα τηγανίστηκαν, ανέφεραν μείωση του ακρυλαμιδίου της τάξης του 90%, ενώ οι (Sansano, Juan-Borrás, Escriche, Andrés, & Heredia, 2015) σε έρευνα που πραγματοποίησαν, συνέκριναν την ποσότητα ακρυλαμιδίου σε προϊόντα τηγανισμένα στον αέρα σε σχέση με

προϊόντα “βαθιά” τηγανισμένα με λάδι, όπου ανέφεραν μείωση 90% του ακρυλαμιδίου μέσω του τηγανίσματος με αέρα.

Η μείωση του ακρυλαμιδίου μέσω προ-και-μετά- επεξεργασιών έχει ως αποτέλεσμα επιπλέον βήματα και χρόνο επεξεργασίας, με επακόλουθη αύξηση του κόστους επεξεργασίας, πράγμα που τις περισσότερες φορές σημαίνει αύξηση του κόστους του προϊόντος. Για τον λόγο αυτό, είναι πολύ σημαντική η αξιολόγηση του κόστους των διαδικασιών αυτών για την υιοθέτηση τέτοιων στρατηγικών επεξεργασίας τροφίμων στις βιομηχανίες.

#### 4.1.3. Πρόσθετα

Αρκετά είναι τα πρόσθετα (που προστέθηκαν κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας είτε ως παράγοντας προεργασίας) που έχουν αναφερθεί ως αποτελεσματικά κατά του σχηματισμού ακρυλαμιδίου σε προϊόντα τροφίμων. Οι βιομηχανικές εφαρμογές τους εξαρτώνται από τον τύπο του προϊόντος, την αποτελεσματικότητά τους κατά του σχηματισμού ακρυλαμιδίου χωρίς να επηρεάζουν την ποιότητα και την ασφάλεια του προϊόντος. Έρευνα των (Zou, et al., 2015) αναφέρει την επίδραση της κυστεΐνης μεμονωμένα και σε συνδυασμό με γλυκίνη σε μοντέλα ασπαραγίνης/γλυκόζης και μπισκότων, παρατηρώντας μείωση ακρυλαμιδίου της τάξης 93,2% έως 97,8%. Ένα άλλο πρόσθετο, που αναφέρεται σε έρευνα των (Salazar, Arámbula-Villa, Luna-Bárcenas, Figueroa-Cárdenas, Azuara, & Vázquez-Landaverde, 2014), για την αποφυγή σχηματισμού ακρυλαμιδίου είναι το οξείδιο του ασβεστίου. Τα οξείδια ασβεστίου χρησιμοποιήθηκαν στη διαδικασία Νικομαλιοποίησης (nixtamalization) καλαμποκάλευρου για την παραγωγή τσιπ tortilla, σημειώνοντας μείωση κατά 36-52% στο ακρυλαμίδιο. Επιπλέον, μελέτη που έγινε από τους (Kalita & Jayanty, 2013) σε λωρίδες πατάτας με συνδυασμό διαλύματος θειικού βαναδυλίου έδειξε μείωση ακρυλαμιδίου έως 90%. Οι (Yuan, Shu, Zhou, & Qi, 2011) διερεύνησαν την επίδραση ορισμένων προσθέτων, συμπεριλαμβανομένης της αλικίνης, κυστεΐνης,  $\text{NaHSO}_3$  (=ανθρακικό νάτριο) ,  $\text{NaCl}$  και ασκορβικού οξέος στη μείωση ακρυλαμιδίου κατά τη διάρκεια της θέρμανσης μέσω

μικροκυμάτων. Κάθε αναφερόμενο πρόσθετο αποδείχθηκε επαρκές, αλλά η κυστεΐνη και το  $\text{NaHSO}_3$  φάνηκε να απέδωσαν καλύτερα, αναφέροντας ότι το  $\text{NaHSO}_3$  αναστέλλει τον σχηματισμό της βάσης Schiff, αντιδρώντας με την καρβονυλομάδα των αναγωγικών σακχάρων (Maan, et al., 2020). Παράλληλα, μελέτη που σχετίζεται με την ώριμη μαύρη ελιά, αναφέρει ότι η ενσωμάτωση του  $\text{NaHSO}_3$  δεν επηρέασε την παραγωγή ακρυλαμιδίου στα 1, 5 mM αλλά αναφέρθηκε 100% αναστολή στη συγκέντρωση 25 mM (Maan, et al., 2020). Ακόμα, μείωση περίπου 90% επέφερε η προεπεξεργασία πατάτας σε όξινα διαλύματα (είτε κιτρικά, είτε οξικά). Το οργανικά οξέα μείωσαν το ακρυλαμίδιο μέσω πρωτονίωσης των αμινομάδων ασπαραγίνης σε χαμηλό pH. Οι ίδιοι ερευνητές αξιολόγησαν επίσης την επίδραση της επεξεργασίας ξήρανσης μετά το τηγάνισμα (δηλαδή ξήρανσης πατάτας αμέσως μετά το τηγάνισμα σε φούρνο θερμού αέρα) και ανέφεραν μείωση κατά 80% του ακρυλαμιδίου (Kita, Bråthen, Knutsen, & Wicklund, 2004), ενώ παρόμοια ποσοστά μείωσης (80-90%) επέφερε η προεπεξεργασία πατάτας με γλυκίνη, νικοτινικό οξύ και  $\text{NaCl}$  2%. Τέλος, δεδομένου ότι η ασπαραγίνη θεωρείται ένας από τους σημαντικότερους προδρόμους του ακρυλαμιδίου, έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες προσπαθώντας να αξιολογήσουν την επίδραση του ενζύμου L-ασπαραγινάσης στην μείωση σχηματισμού του ακρυλαμιδίου. Η μικροβιακή πηγή του ενζύμου (*Bacillus subtilis*) θεωρείται ως η καταλληλότερη επιλογή για τις εφαρμογές της στις βιομηχανίες τροφίμων και ιατρικής (Maan, et al., 2020). Πείραμα σε φέτες πατάτας, οι οποίες αρχικά βυθίστηκαν σε L-ασπαραγινάση και έπειτα τηγανίστηκαν, έδειξε μείωση ακρυλαμιδίου κατά 82%.

#### 4.1.4. Ζεμάτισμα/Μπλανσάρισμα (Blanching)

Το ζεμάτισμα είναι μια προπαρασκευαστική διαδικασία που περιλαμβάνει εναπόθεση του τροφίμου σε νερό που βράζει για σύντομο χρονικό διάστημα, εξαγωγή και άμεση ψύξη. Οι κύριοι λόγοι που γίνεται είναι για να ληφθεί περισσότερο ομοιόμορφο χρώμα στο τρόφιμο, λιγότερη απορρόφηση ελαίου και για να δημιουργηθεί ένα ζελατινοποιημένο στρώμα αμύλου το οποίο βελτιώνει σημαντικά την υφή του προϊόντος. Η διαδικασία αυτή, σε περίπτωση πατάτας

πριν από το τηγάνισμα, έχει βρεθεί πολύ αποτελεσματική στην ελαχιστοποίηση του ακρυλαμιδίου (Pedreschi, Kaack, Granby, & Troncoso, Acrylamide Reduction under Different pre-treatments in French fries, 2007). Πιο συγκεκριμένα, με το ζεμάτισμα εκχυλίζονται τα σάκχαρα που υπάρχουν στις πατάτες, που σημαίνει ότι μειώνεται η ποσότητα των προδρόμων του ακρυλαμιδίου. Επιπλέον, η θερμοκρασία ζεματίσματος αναφέρεται ότι είναι βασικός παράγοντας στη μείωση ακρυλαμιδίου, καθώς επίσης και οι συνθήκες ζεματίσματος (συνδυασμοί χρόνου και θερμοκρασίας). Το ζεμάτισμα για μικρό χρονικό διάστημα σε υψηλή θερμοκρασία αποδείχθηκε πιο αποτελεσματικό από το ζεμάτισμα σε χαμηλή θερμοκρασία και για μεγάλο χρονικό διάστημα (Fraselle, et al., 2008), ενώ μία μείωση κατά 78% επιτεύχθηκε με συνδυασμένο ζεματίσματος και ακτινοβολίας γάμμα (Jouhara, Koudsi, AL-Bachir, & Abboudi, 2016).

#### 4.1.5. Ζύμωση

Η ζύμωση είναι μια σημαντική διαδικασία για την παρασκευή ζυμωμένων προϊόντων από αλεύρι σίτου. Σύμφωνα με αναφορές η ζύμωση με μαγιά μπορεί να μειώσει τον σχηματισμό ασπαραγίνης και κατ' επέκταση του ακρυλαμιδίου στο ψωμί. Η ζύμωση με μαγιά μπορεί να μειώσει περίπου το 40-60% της ασπαραγίνης (Wang, Yu, Xin, Wang, & Copeland, 2017). Ωστόσο, η ζύμωση με προζύμη επηρεάζει αρνητικά την αξιοποίηση της ασπαραγίνης σε σχέση με την ζύμωση με μαγιά και μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη ποσότητα ακρυλαμιδίου. Επομένως, η διαδικασία ζύμωσης, ο τύπος των μικροοργανισμών και οι αλληλεπιδράσεις τους είναι σημαντικοί παράγοντες που παίζουν ρόλο στην μείωση του ακρυλαμιδίου.

#### 4.1.6. Φυτικά Εκχυλίσματα

Σε μοντέλα και συστήματα τροφίμων, μια ποικιλία φυτικών εκχυλισμάτων (πλούσια σε φαινόλες και αντιοξειδωτικά) έχουν μελετηθεί ως αναστολείς σχηματισμού ακρυλαμίδιου. Ωστόσο, έχουν αναφερθεί αντιφατικές επιδράσεις για την ανασταλτική τους ικανότητα ως προς το ακρυλαμίδιο. Οι (Vattem & Shetty, 2003) έχουν αναφέρει ότι ο σχηματισμός ακρυλαμίδιου είναι μη οξειδωτικός στη φύση και έτσι η παρουσία εξωγενών φαινολικών μπορεί να αυξήσει τον σχηματισμό ακρυλαμίδιου. Ωστόσο, οι περισσότερες μελέτες σχετικά με εκχυλίσματα φυτών έχουν αναφέρει σημαντική μείωση έως και 60% σε ακρυλαμίδιο από διάφορα φυτικά εκχυλίσματα, όπως πράσινο τσάι, μπαμπού, μέντα, μούρα και άνθη ροδιού. Η ανασταλτική τους δράση εξαρτάται κυρίως από τον τύπο των αντιοξειδωτικών στα εκχυλίσματα, τη συγκέντρωση και την καθαρότητά τους (Constantinou & Koutsidis, 2016).

#### 4.1.7. Παράγοντες Διόγκωσης

Η αντικατάσταση του ανθρακικού αμμωνίου (παράγοντας διόγκωσης) σε προϊόντα όπως ψωμί, μπισκότα και δημητριακά, με εναλλακτικά διογκωτικά πρόσθετα μπορεί να μειώσει την παραγωγή ακρυλαμίδιου. Τέτοιου είδους τεχνική έχει εφαρμοστεί σε προϊόντα μπισκότων, και παρόλο που προκαλεί συχνά αλλαγές στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος, έχει γίνει αποδεκτή από τους καταναλωτές. Για να επιτευχθεί το καλύτερο αποτέλεσμα σε συνδυασμό με προσδοκώμενο βέλτιστο ψήσιμο, χρησιμοποιούνται συνδυασμοί  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  (διττανθρακικό αμμώνιο) και  $\text{NaHCO}_3$  (ανθρακικό νάτριο) και μέσω οξύνισης.



#### 4.1.8. Μείωση pH

Η προσθήκη κιτρικού ή ασκορβικού οξέος όπως περιγράφηκε, μειώνει το σχηματισμό του ακρυλαμιδίου και χρησιμοποιείται σε ορισμένα τυποποιημένα προϊόντα όπως τα πατατάκια. Ωστόσο, έχει βρεθεί ότι η προσθήκη μεγάλων ποσοτήτων οξέος μπορεί να επιφέρει όξινη γεύση στο τρόφιμο. Στα προϊόντα δημητριακών (ψωμί, μπισκότα κ.α.) η προσθήκη οργανικών οξέων έχει εφαρμοσθεί μόνο σε πειραματικό επίπεδο και το ποσοστό της μείωσης του ακρυλαμιδίου εξαρτάται από το εκάστοτε τρόφιμο.

#### 4.1.9. Οδηγός Καταναλωτών

Στις συσκευασίες τροφίμων και ιδιαίτερα των ημι-έτοιμων τροφίμων που θα μαγειρευτούν από τους καταναλωτές πρέπει να αναγράφονται οδηγίες για τις συνθήκες μαγειρέματος. Ο καταναλωτής πρέπει να γνωρίζει ακριβείς χρόνους και θερμοκρασίες ψησίματος/τηγανίσματος του τροφίμου, για να πετύχει τον ελάχιστο δυνατό σχηματισμό ακρυλαμιδίου, σε συνδυασμό με το καλύτερο δυνατό γευστικό και οπτικό αποτέλεσμα.




### 4. 2. Σε ατομικό επίπεδο - Νοικοκυριά

#### 4.2.1. Αποφυγή υπερβολικού ψησίματος φαγητού

Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία τηγανίσματος και όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος μαγειρέματος, τόσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση του ακρυλαμιδίου. Πρέπει να αποφεύγεται το ξεροψήσιμο της πατάτας και των λαχανικών όσο το δυνατόν περισσότερο κατά το τηγάνισμα (Rydberg, Eriksson, Tareke, Karlsson, Ehrenberg, & Törnqvist, 2003). Επιπλέον, το ψωμί δεν πρέπει να φρυγανίζεται υπερβολικά. Όταν το χρώμα της φέτας είναι χρυσοκίτρινο, θα πρέπει να

σταματάει το ψήσιμο. Πειραματικά αποτελέσματα του MAFF (Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries) υποστηρίζουν ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος μαγειρέματος (δηλαδή όσο πιο “ξεροψημένο” είναι το τρόφιμο), τόσο υψηλότερη η συγκέντρωση ακρυλαμιδίου.

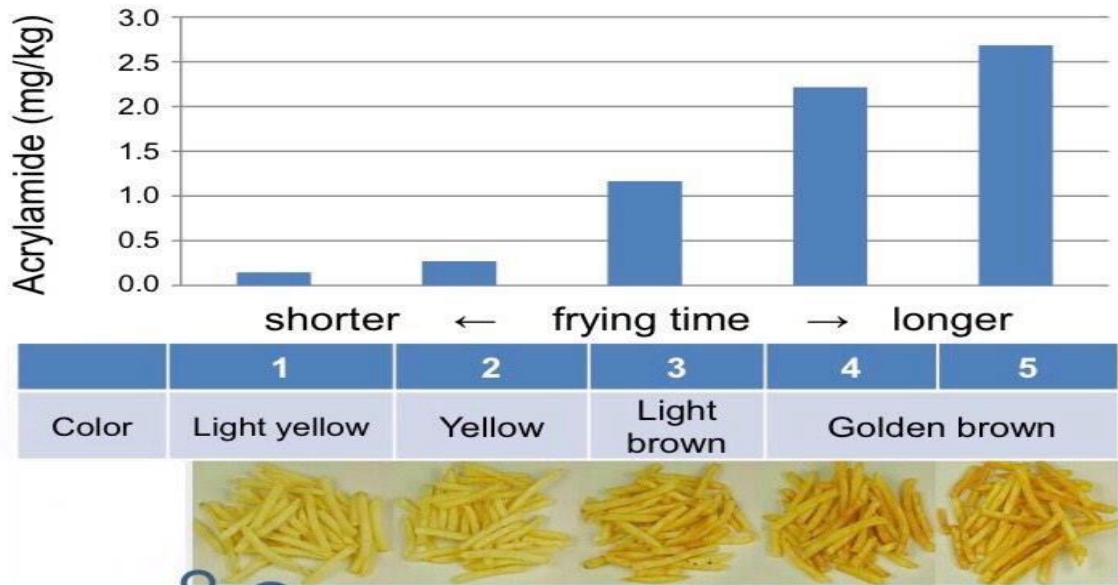
### Σοταρισμένα Σπαράγγια

2 min	5 min	8 min
		

**Πίνακας:** Σοταρισμένα σπαράγγια στους 200 °C σε διαφορετικούς χρόνους ψησίματος.

**Πηγή:** (Ministry of Agriculture)

### Πατάτες τηγανιτές

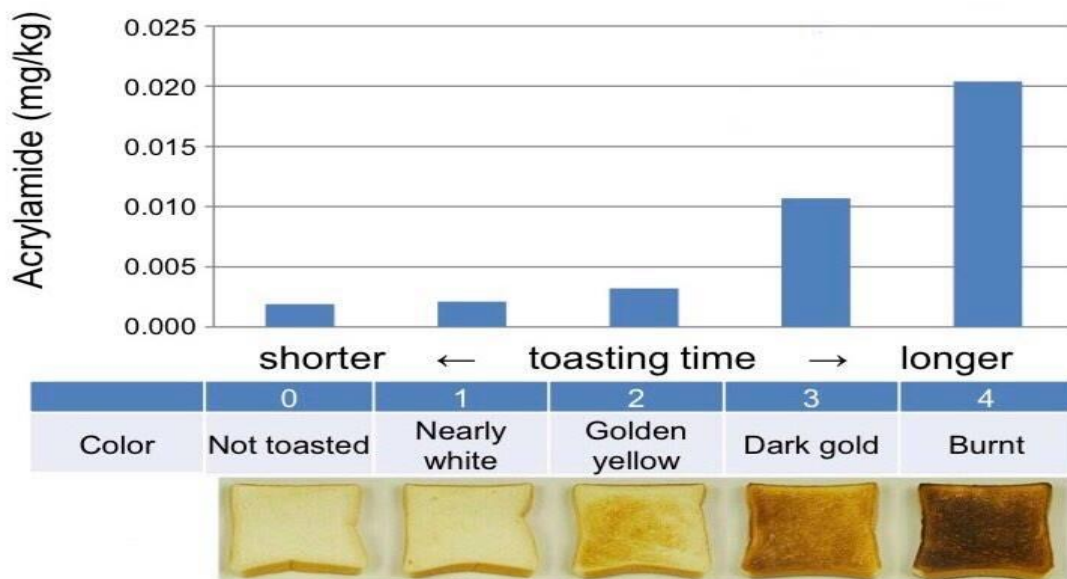


Εικόνα: Περιεκτικότητες ακρυλαμιδίου σε πατάτες τηγανιτές που διαφέρουν ανάλογα με το εξωτερικό χρώμα της πατάτας και τον χρόνο τηγανίσματος.

Πηγή: (Ministry of Agriculture)

Παρατηρούμε ότι το χρώμα των τηγανισμένων πατατών συσχετίζεται με τις συγκεντρώσεις ακρυλαμιδίου. Όσο πιο χρυσαφένιο – καστανό είναι το χρώμα, τόσο μεγαλύτερη είναι και η συγκέντρωση του παραγόμενου ακρυλαμιδίου.

### Φρυγανισμένο Ψωμί



Εικόνα: Περιεκτικότητες ακρυλαμιδίου σε φρυγανισμένο ψωμί που διαφέρουν ανάλογα με το εξωτερικό χρώμα του ψωμιού και τον χρόνο ψησίματος

**Πηγή:** (Ministry of Agriculture)



Το προτεινόμενο χρώμα, όπου η περιεκτικότητα σε ακρυλαμίδιο είναι η ελάχιστη δυνατή, είναι το χρυσοκίτρινο. Ένας κανόνας που προσπαθούν να προωθήσουν ορισμένες χώρες του εξωτερικού στους καταναλωτές είναι: «Don't burn it, lightly brown it». Δηλαδή τα τρόφιμα πρέπει να ψήνονται έως ένα χρυσοκίτρινο χρώμα χωρίς να μαυρίζουν.

#### 4.2.2. Συνθήκες Αποθήκευσης

Αρκετές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με τις συνθήκες αποθήκευσης των τροφίμων και αν συμβάλλουν στον σχηματισμό του ακρυλαμιδίου. Μία χαρακτηριστική περίπτωση είναι αυτή της πατάτας. Οι πατάτες δεν πρέπει να φυλάσσονται στο ψυγείο, καθώς αυτό αυξάνει τα επίπεδα σακχάρων (και κατ' επέκταση την παραγωγή ακρυλαμιδίου). Πατάτες οι οποίες αποθηκεύτηκαν στο ψυγείο, θα πρέπει να μετακινηθούν σε θερμοκρασία δωματίου τουλάχιστον μια εβδομάδα πριν το τηγάνισμα, για την μείωση των αναγωγικών σακχάρων τους. Όσον αφορά στο φως, φαίνεται να προκαλεί μια αύξηση της συγκέντρωσης των σακχάρων στις πατάτες (Biedermann, Biedermann-Brem, Noti, & Grob, 2002), επομένως αύξηση του παραγόμενου ακρυλαμιδίου. Προτείνεται οι πατάτες να φυλάσσονται σε ένα σκοτεινό και δροσερό μέρος και σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 8°C (Michalak, Gujska, & Klepacka, 2011)

Πειραματικά αποτελέσματα του MAFF έδειξαν ότι το επίπεδο ακρυλαμιδίου σε πατάτες τηγανητές, από πατάτες αποθηκευμένες σε θερμοκρασία δωματίου, ήταν λιγότερο από το ήμισυ σε σχέση με εκείνων που ήταν αποθηκευμένες σε ψυγείο. Επιπλέον, οι πατάτες που αποθηκεύτηκαν στο ψυγείο είχαν την τάση να καούν πιο εύκολα συγκριτικά με αυτές που ήταν αποθηκευμένες σε θερμοκρασία δωματίου.

Πατάτες που είχαν αποθηκευτεί σε	Πατάτες που είχαν αποθηκευτεί σε
----------------------------------	----------------------------------

Θερμοκρασία 4 °C	Θερμοκρασία δωματίου
	



**Εικόνες:** Πατάτες που τηγανίστηκαν στους 200 °C για 10 λεπτά, οι οποίες πριν το τηγάνισμα είχαν αποθηκευτεί για 1 μήνα σε διαφορετικές θερμοκρασίες.

**Πηγή:** (Ministry of Agriculture)

#### 4.2.3. Έκπλυση με Νερό

Οι πατάτες και τα λαχανικά πρέπει να ξεπλένονται πολύ καλά με νερό αμέσως μετά την κοπή και πριν το ψήσιμο τους. Πιο συγκεκριμένα, οι πατάτες είναι καλύτερο να έχουν εμβαπτιστεί για αρκετή ώρα σε νερό, προκειμένου να μειωθεί η περιεκτικότητά τους σε ελεύθερα σάκχαρα και αμινοξέα. Επίσης, είναι καλό οι πατάτες αρχικά να ζεματίζονται σε καυτό νερό και κατόπιν να υφίστανται σύντομο τηγάνισμα

Πειραματικά αποτελέσματα του MAFF σε ρίζα λωτού έδειξαν ότι τα επίπεδα ακρυλαμιδίου σε τηγανητές ρίζες λωτού που προηγουμένως εμποτίστηκαν σε νερό ήταν τα μισά από τα επίπεδα εκείνων που δεν εμποτίστηκαν.

Δεν είχαν εμποτιστεί σε νερό	Εμποτίστηκαν σε νερό
	

**Εικόνες:** Οι κομμένες ρίζες λωτού της αριστερής φωτογραφίας δεν ήταν εμποτισμένες σε νερό, ενώ οι δεξιά εμποτίστηκαν για 10 λεπτά, και στη συνέχεια τηγανίστηκαν και οι δύο για 6 λεπτά στους 200 ° C.

**Πηγή:** (Ministry of Agriculture)

#### 4.2.4. Τεχνική βέλτιστου τηγανίσματος

Το τηγάνισμα σε χαμηλή θερμοκρασία, συνδυαζόμενο με ανάδευση παράγει πολύ λιγότερο ακρυλαμίδιο σε σχέση με εκείνο χωρίς ανάδευση σε πολύ υψηλή θερμοκρασία. Η ανάδευση δημιουργεί ομοιόμορφη θέρμανση και καθίσταται πιο μικρή η πιθανότητα να καεί το τρόφιμο.

#### 4.2.5. Αποφυγή Τηγανίσματος

Συγκρίνοντας ο τηγάνισμα με το ψήσιμο πατάτας και τον βρασμό, το τηγάνισμα προκαλεί τον υψηλότερο σχηματισμό σε ακρυλαμίδιο, ενώ το τηγάνισμα τεμαχίων πατάτας προκαλεί μικρότερο σχηματισμό ακρυλαμιδίου σε σχέση με το ψήσιμο ολόκληρης πατάτας. Παράλληλα, το μαγείρεμα με νερό (ατμός, βρασμός, σιγοβράσιμο) δεν θα φτάσει θερμοκρασία παραπάνω από 120°C και το ακρυλαμίδιο δεν μπορεί να σχηματιστεί κατά τη διάρκεια αυτών των μεθόδων μαγειρέματος.

## Κεφάλαιο 5

### Πρακτικές Συστάσεις για μείωση σχηματισμού Ακρυλαμιδίου

#### 5.1 Πρακτικές Συστάσεις προς τη βιομηχανία τροφίμων

Πίνακας 2:

Προτεινόμενες Μέθοδοι μείωσης Ακρυλαμιδίου για μπισκότα, κράκερς και κριτσίνια κ.ο.κ.

Επιλογή Πρώτων Υλών (Raw Materials Selection)	Σχεδιασμός Συνταγής (Recipe Design)	Σχεδιασμός Επεξεργασίας (Process Design)	Χαρακτηριστικά Τελικού Προϊόντος (Finished Product Attributes)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η σύνθεση των σακχάρων που προέρχονται από κόκκους δημητριακών, δεν αποτελεί παράγοντα σχηματισμού ακρυλαμιδίου.</li> <li>• Τα εδάφη που στερούνται θείου, φαίνεται να επηρεάζουν την συγκέντρωση ελεύθερης ασπαραγίνης σε ορισμένες καλλιέργειες δημητριακών. Λιγότερο θείο στο έδαφος έχει ως αποτέλεσμα</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Εάν χρησιμοποιηθεί λιγότερο αλεύρι ολικής άλεσης, τότε θα σχηματιστεί λιγότερο ακρυλαμίδιο. Αυτό όμως θα θέσει σε κίνδυνο τις οργανοληπτικές και διατροφικές ιδιότητες του προϊόντος.</li> <li>• Η αντικατάσταση του διττανθρακικού αμμωνίου (πλήρως ή εν μέρει) με εναλλακτικούς παράγοντες διόγκωσης (όπως διττανθρακικό νάτριο και οξυντικά,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Συστατικά που έχουν υποστεί θερμική επεξεργασία, όπως καβουρδισμένοι/ψημένοι ξηροί καρποί και αποξηραμένα φρούτα είναι πιθανές πηγές φρουκτόζης και υπάρχει πιθανότητα να αυξήσουν τα επίπεδα ακρυλαμιδίου στο τελικό προϊόν. Για τα σχετικά προϊόντα, και όταν ο σχεδιασμός του προϊόντος το επιτρέπει, η αντικατάσταση της φρουκτόζης ή των συστατικών που περιέχουν φρουκτόζη (π.χ. σιρόπια, μέλι) με</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η αντίδραση Maillard, η οποία οδηγεί στην παραγωγή ακρυλαμιδίου, επίσης παράγει τα χρώματα και τις γεύσεις που προσδίδουν στα ψημένα προϊόντα δημητριακών τα βασικά χαρακτηριστικά τους. Εάν, ωστόσο, μπορούσε κανείς να παράγει πιο ανοιχτόχρωμα και λιγότερο ψημένα προϊόντα, χωρίς να αυξηθεί η περιεκτικότητα σε υγρασία, το επίπεδο ακρυλαμιδίου θα μπορούσε θεωρητικά να</li> </ul>

<p>υψηλότερα επίπεδα ασπαραγίνης στην καλλιέργεια και ως εκ τούτου υψηλότερος κίνδυνος σχηματισμού ακρυλαμιδίου.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Η καθυστερημένη ή / και υπερβολική εφαρμογή του αζώτου μπορεί να αυξήσει την ελεύθερη ασπαραγίνη και την συνολική συγκέντρωση ελεύθερων αμινοξέων στο σιτάρι και άλλα δημητριακά, προκαλώντας μια ταυτόχρονη αύξηση του δυναμικού σχηματισμού του ακρυλαμιδίου.</li> <li>• Η μόλυνση από μυκητιασικό παθογόνο μικροοργανισμό προκαλεί σημαντική αύξηση της</li> </ul>	<p>διττανθρακικό νάτριο και διφωσφορικά με οργανικά οξέα ή παραλλαγές τους με κάλιο) είναι ένας αποδεδειγμένος τρόπος για την σχετική μείωση του ακρυλαμιδίου σε ορισμένα προϊόντα και κατά περίπτωση.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Για ορισμένα προϊόντα μπορεί να αξιοποιηθεί η ασπαραγινάση, η οποία έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα από τα αποτελεσματικότερα εργαλεία για την μείωση των επιπέδων του ακρυλαμιδίου. Ωστόσο, οι δοκιμές έχουν δείξει ότι υπάρχει περιορισμένη ή μηδαμινή επίδραση σε συνταγές με υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά, με χαμηλή υγρασία ή συνταγές με υψηλή τιμή pH.</li> <li>• Οι διάφοροι τύποι σιτηρών περιέχουν συνήθως διαφορετικά επίπεδα</li> </ul>	<p>γλυκόζη ή μη αναγωγικά σάκχαρα (π.χ. σακχαρόζη) θεωρείται αποτελεσματικό εργαλείο για τη μείωση του σχηματισμού ακρυλαμιδίου – ιδίως σε συνταγές που περιέχουν διττανθρακικό αμμώνιο. Οι εκτιμήσεις θα πρέπει να περιλαμβάνουν κατά συνέπεια ότι η αντικατάσταση της φρουκτόζης ή άλλων αναγωγικών σακχάρων μπορεί να οδηγήσει σε τροποποίηση της ταυτότητας του προϊόντος λόγω απώλειας γεύσης και σχηματισμού χρώματος.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Η προσθήκη οργανικών οξέων/ ρύθμιση του pH σε συνδυασμό με τις άλλες συστάσεις, μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερα επίπεδα ακρυλαμιδίου. Με την μείωση του pH, θα επηρεαστεί η αντίδραση Maillard, μειώνοντας τον σχηματισμό</li> </ul>	<p>μειωθεί.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Θα πρέπει να δίνεται προσοχή για να μη υποψηθεί το προϊόν, καθώς αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε μικροβιολογικά προβλήματα κατά την αποθήκευση.</li> <li>• Η αύξηση του ορίου της προδιαγραφής υγρασίας για το τελικό προϊόν και την διαδικασία παραγωγής, μπορεί να είναι ένα εφικτό μέτρο με την προϋπόθεση ότι η ποιότητα (συμπεριλαμβανομένων των φυσικών χαρακτηριστικών), η διάρκεια ζωής και τα πρότυπα ασφαλείας του τροφίμου διατηρούνται εξίσου.</li> </ul>
---	---	---	--



<p>ελεύθερης ασπαραγίνης στους κόκκους δημητριακών v. Είναι σημαντικό να εφαρμόζονται οι βέλτιστες πρακτικές σε ό,τι αφορά τα μέτρα προστασίας των καλλιεργειών για την πρόληψη μυκητιασικής λοίμωξης.</p>	<p>ασπαραγίνης. Τα τυπικά επίπεδα ασπαραγίνης στα δημητριακά είναι: σίκαλη&gt; βρώμη&gt; σιτάρι&gt; αραβόσιτος&gt; ρύζι. Ως εκ τούτου, η μερική αντικατάσταση ενός αλεύρου με ένα εναλλακτικό αλεύρι σιταριού μπορεί να είναι μια λύση.</p>	<p>ακρυλαμιδίου. Αυτή η επιλογή, ωστόσο, έχει τους περιορισμούς της, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε οργανοληπτικές αλλαγές (λιγότερο καστανό χρώμα, τροποποίηση της γεύσης).</p>	
--	---	---	--

**Πίνακας 3:**

**Προτεινόμενες Μέθοδοι μείωσης Ακρυλαμιδίου για δημητριακά πρωινού**

<p><b>Αγρονομία: Ασπαραγίνη</b></p>	<p><b>Σχεδιασμός Συνταγής (Recipe Design)</b></p>	<p><b>Σχεδιασμός Επεξεργασίας (Process Design)</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Το επίπεδο της ελεύθερης ασπαραγίνης είναι το κλειδί σχηματισμού ακρυλαμιδίου στα προϊόντα δημητριακών. Η σύνθεση των σακχάρων των δημητριακών δεν αποτελεί καθοριστικό παράγοντα του</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Επιλογή Συστατικών των δημητριακών Όλα τα κύρια δημητριακά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δημητριακά πρωινού και ορισμένα δημητριακά αποδίδουν περισσότερο ακρυλαμίδιο από άλλα σε μια κοινή</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η βελτιστοποίηση της θερμικής εισροής οδηγεί σε μείωση του σχηματισμού ακρυλαμιδίου. Ένας αποτελεσματικός συνδυασμός θερμοκρασίας ή/και χρόνων θέρμανσης ελαχιστοποιεί το σχηματισμό ακρυλαμιδίου, χωρίς συμβιβασμό της γεύσης, της υφής, του χρώματος, της ασφάλειας και της σταθερότητας (διάρκεια ζωής) του προϊόντος. Ο σχηματισμός ακρυλαμιδίου κατά το ψήσιμο των προϊόντων δημητριακών συνδέεται άρρηκτα</li> </ul>

<p>σηματισμού του ακρυλαμιδίου και συνεπώς δεν θεωρείται σημαντικός στο πλαίσιο της μείωσης του ακρυλαμιδίου. Επί του παρόντος, είναι αδύνατο να προμηθευτούμε σπόρους με ελεγχόμενα χαμηλά επίπεδα ασπαραγίνης, λόγω των πηγών διακύμανσης (τύπος κόκκων, μεμονωμένη ποικιλία, συνθήκες καλλιέργειας σε μεμονωμένους αγρούς, κλίμα). Οι φορείς εκμετάλλευσης σταθερής βάσης (FBOs) θα πρέπει να ενημερώνονται συνεχώς για την πρόοδο της έρευνας για την ανάπτυξη νέων ποικιλιών σιταριού με χαμηλή περιεκτικότητα σε ασπαραγίνη μέσω των εμπορικών ενώσεων και των</p>	<p>διαδικασία. Τα προϊόντα με βάση τον αραβόσιτο και το ρύζι τείνουν να έχουν λιγότερο ακρυλαμίδιο από εκείνα που παρασκευάζονται με σιτάρι, σίκαλη, κριθάρι και βρώμη. Ωστόσο, η επιλογή του σπόρου καθορίζει το τρόφιμο και, επομένως, δεν είναι δυνατόν να αντικαταστήσουμε απλώς το σιτάρι με ένα άλλο σιτάρι χωρίς να αλλάξει ολόκληρο το προϊόν και να χαθεί η ταυτότητα του προϊόντος. Η χρήση λιγότερου ολικού αλεύρου/λιγότερου πίτουρου μπορεί να μειώσει το σχηματισμό ακρυλαμιδίου (η Ασπαραγίνη είναι σε μεγαλύτερη συγκέντρωση στο πίτουρο), ωστόσο αυτό θα προκαλέσει σημαντική μείωση στη θρεπτική αξία του προϊόντος, θα αλλάξει τις οργανοληπτικές ιδιότητες και την ταυτότητα του προϊόντος.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ελαχιστοποιήστε τη χρήση</b></li> </ul>	<p>με το συνδυασμό της περιεκτικότητας σε υγρασία και της θερμοκρασίας/χρόνου ψησίματος.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Δεν πρέπει να παραψήνονται ή να παρά-φρυγανίζονται τα δημητριακά. Πρέπει να αποφεύγεται η εμφάνιση «καμένου» προϊόντος, καθώς αυτό πολύ πιθανόν να οδηγήσει σε εκτόξευση των συγκεντρώσεων του ακρυλαμιδίου.</b></li> <li>• <b>Προσδιορίστε τα βασικά κρίσιμα βήματα θερμικής επεξεργασίας που πρέπει να επικεντρώνονται οι προσπάθειες μείωσης/ ελέγχου του ακρυλαμιδίου.</b></li> <li>• <b>Να ελέγχονται οι θερμοκρασίες θέρμανσης, οι χρόνοι και ο ρυθμός τροφοδοσίας για να επιτευχθούν οι ελάχιστες τυπικές περιεκτικότητες σε υγρασία μετά από τα τελικά στάδια θερμικής επεξεργασίας, ώστε να παρεμποδίζεται η δημιουργία των αιχμών (spikes) ακρυλαμιδίου.</b></li> <li>• Είναι σημαντικό να μετράται επίσης η περιεκτικότητα σε υγρασία και να εκφράζεται η συγκέντρωση του ακρυλαμιδίου σε ξηρή βάση, ώστε να ελαχιστοποιείται η συγχυτική επίδραση των αλλαγών υγρασίας.</li> <li>• <b>Επαναβιομηχανοποίηση (rework):</b> Οι παραγωγοί θα πρέπει να αξιολογούν τις επιπτώσεις της χρήσης επαναβιομηχανοποιούμενων προϊόντων δημητριακών και,</li> </ul>
--	---	---

<p>ερευνητικών ινστιτούτων.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Πρέπει να αποφεύγεται η αύξηση των επιπέδων ελεύθερης ασπαραγίνης στα δημητριακά, καθώς οδηγεί σε υψηλότερο κίνδυνο σχηματισμού ακρυλαμιδίου:</b></li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Οι γεωργοί πρέπει να ενημερωθούν για την σημασία της διατήρησης της ισορροπίας των επιπέδων θείου στην καλλιέργεια σιτηρών.</li> <li>2. Οι γεωργοί πρέπει να αποφεύγουν την καθυστερημένη και υπερβολική εφαρμογή αζώτου σε συνέπεια με Ορθές γεωργικές πρακτικές για τη λίπανση</li> <li>3. Οι αγρότες θα πρέπει να καθοδηγούνται στη χρήση κατάλληλων μέτρων φυτοπροστασίας για την πρόληψη μυκητολογικών λοιμώξεων σε συμφωνία με τις ορθές γεωργικές</li> </ol>	<p><b>αναγωγικών σακχάρων, εάν προστεθούν πριν από τα στάδια θερμικής επεξεργασίας, καθώς μπορούν να λειτουργήσουν ως πρόδρομες ουσίες στον σχηματισμό ακρυλαμιδίου. Στην περίπτωση αυτή, πρέπει να γίνεται έλεγχος των ρυθμών προσθήκης και του σημείου προσθήκης.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Πρέπει να δίνεται προσοχή στα συστατικά που προσθέτονται. Δηλαδή, Τα θερμικά επεξεργασμένα ξηρά πρόσθετα συστατικά μπορεί να συμβάλλουν στην αύξηση του ακρυλαμιδίου. Τα αμύγδαλα χαμηλού ψησίματος περιέχουν 10 φορές λιγότερο ακρυλαμίδιο από τα αμύγδαλα υψηλού ψησίματος. Τα φιστίκια και τα φουντούκια περιέχουν λιγότερο από το ένα πέμπτο της ασπαραγίνης σε σύγκριση με τα αμύγδαλα, οπότε αποδίδουν πολύ λιγότερο ακρυλαμίδιο. Ορισμένα αποξηραμένα φρούτα βρέθηκαν</b></li> </ul>	<p>εάν είναι σημαντικές, να επικεντρωθούν στη μείωση ή την εξάλειψη της επανεπεξεργασίας, καθώς μπορεί να υπάρχει αντίκτυπο στα επίπεδα ακρυλαμιδίου.</p>
--	---	---

<p>Φυτοϋγειονομικές Πρακτικές.</p>	<p>με υψηλότερα επίπεδα ακρυλαμιδίου π.χ. δαμάσκηνα, αχλάδια. Όταν χρησιμοποιούνται ψημένα κομμάτια, η συνταγή τους θα πρέπει να αναθεωρείται σύμφωνα με τις συμβουλές για τα μπισκότα.</p>	
------------------------------------	---	--

**Πίνακας 4:**

<p><b>Προτεινόμενες Μέθοδοι μείωσης Ακρυλαμιδίου σε προϊόντα τηγανητής πατάτας: Πατατάκια</b></p>			
<p><b>Επιλογή Πρώτων Υλών (Raw Materials Selection)</b></p>	<p><b>Σχεδιασμός Συνταγής (Recipe Design)</b></p>	<p><b>Σχεδιασμός Επεξεργασίας (Process Design)</b></p>	<p><b>Χαρακτηριστικά Τελικού Προϊόντος (Finished Product Attributes)</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Επιλέξτε τις κατάλληλες ποικιλίες πατάτας</li> <li>• Ελεγχόμενο Περιβάλλον αποθήκευσης για υγρασία και θερμοκρασία (&gt; 6° C).</li> <li>• Έλεγχος πρώτων υλών για σάκχαρα</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ορισμένα προεπεξεργασμένα συστατικά μπορεί να περιέχουν ήδη υψηλότερα επίπεδα ακρυλαμιδίου που θα μπορούσε να επηρεάσει επίπεδα του τελικού προϊόντος,</li> <li>• Πρέπει να</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Καθορίστε θερμοκρασίες λαδιού τηγανίσματος σε στην έξοδο της φριτέζας (συνήθως όχι περισσότερο από 168°C).</li> <li>• Καθορίστε την περιεκτικότητα σε υγρασία μετά το τηγάνισμα (Η ελάχιστη</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• In-line εφαρμογή χρωματικής διαλογής (χειροκίνητη ή/και οπτικοηλεκτρονική) για τα πατατάκια μετά το τηγάνισμα.</li> </ul>

<p>κατά τη διάρκεια αποθήκευσης</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Έλεγχος των εισερχόμενων πατατών (πρέπει να οριστούν προδιαγραφές για τη μέγιστη περιεκτικότητα σε αναγωγικά σάκχαρα στις πατάτες, καθώς και μέγιστη ποσότητα μελανιασμένων, κηλιδωμένων ή κατεστραμμένων πατατών).</li> </ul>	<p>ληφθεί υπόψη ότι σε ορισμένες περιπτώσεις, τα παχύτερα πατατάκια θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε υψηλότερο επίπεδο ακρυλαμιδίου καθώς απαιτούν μεγαλύτερες θερμικές εισροές θερμότητας για τη δημιουργία του τελικού προϊόντος.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Η χρήση ορισμένων συστατικών μπορεί, εκτός από τη γεύση, να αντισταθμίσει ανοιχτόχρωμα πατατάκια παρέχοντας πρόσθετο χρώμα.</li> </ul>	<p>περιεκτικότητα υγρασίας δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 1,0%)(<a href="#">European Commission-Acrylamide</a>).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Αυτόματο σύστημα in-line ρύθμισης ψησίματος ανάλογα με το ποσοστό υγρασίας</li> <li>• Αυτόματο σύστημα in-line απόρριψης μετά τη φριτέζα, βάσει χρώματος/ελαττωμάτων προϊόντος</li> <li>• Έκπλυση στις φέτες πατάτας σε ζεστό/ καυτό νερό για να απομακρυνθεί η περίσσεια σακχάρων.</li> </ul>	
---	---	---	--

Πίνακας 5:

<b>Προτεινόμενες Μέθοδοι μείωσης Ακρυλαμιδίου για προτηγανισμένες τηγανητές πατάτες</b>		
<b>Επιλογή Πρώτων Υλών (Raw Materials Selection)</b>	<b>Σχεδιασμός Συνταγής (Recipe Design)</b>	<b>Τελικό Προϊόν (Final Product)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Επιλέξτε ποικιλίες πατάτας με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε σάκχαρα, κατάλληλες για τηγανητά προϊόντα πατάτας.</li> <li>• Προσδιορίστε και χρησιμοποιήστε τις ποικιλίες πατάτας που είναι κατάλληλες για τον επιθυμητό τύπο του προϊόντος.</li> <li>• Απορρίψτε τις ανώριμες πατάτες</li> <li>• Οι πατάτες πρέπει να αποθηκεύονται σε θερμοκρασία άνω των 6 °C. Ελέγξτε τη θερμοκρασία και την υγρασία.</li> <li>• Ελέγξτε τις παρτίδες πατάτας που έρχονται στο εργοστάσιο μέσω δοκιμής χρώματος τηγανιτών πατατών ή άλλα εργαλεία μέτρησης αναγωγικών σακχάρων.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κόψτε τις πατάτες όσο το δυνατόν παχύτερες. Περιέχουν λιγότερο ακρυλαμίδιο λόγω της επίδρασης επιφάνειας/όγκου.</li> <li>• Μπλανσάρετε/ Ζεματίστε τις λωρίδες πατάτας για να αφαιρέσετε όσο γίνεται περισσότερα αναγωγικά σάκχαρα από το εξωτερικό της πατάτας.</li> <li>• Προσθήκη διφωσφορικού δινατρίου απευθείας μετά το μπλανσάρισμα μπορεί να μειώσει το ακρυλαμίδιο στο τελικό προϊόν λόγω της δράσης του pH.</li> <li>• Η διαδικασία τηγανίσματος είναι κρίσιμη και πρέπει να είναι να ελέγχεται προσεκτικά για τη βελτιστοποίηση του χρώματος, την ανάπτυξη και την ελαχιστοποίηση του σχηματισμού του ακρυλαμιδίου.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Στην συσκευασία του τελικού προϊόντος πρέπει να αναγράφονται σαφείς οδηγίες μαγειρέματος και να περιλαμβάνουν τα εξής: Τηγανίστε στους 175 °C το πολύ-μην το παραψήσετε-μαγειρέψτε μέχρι να αποκτήσετε ένα χρυσοκίτρινο χρώμα- και κατά το μαγείρεμα μικρότερης ποσότητας μειώνετε το χρόνο μαγειρέματος,</li> <li>• Αξιοποιήστε τους διαθέσιμους οδηγούς χρωμάτων που παρέχουν καθοδήγηση για τον βέλτιστο συνδυασμό χρωμάτων και χαμηλών επιπέδων ακρυλαμιδίου.</li> <li>• Ελέγξτε το τελικό χρώμα έναντι του προϊόντος προδιαγραφή μετά το τηγάνισμα σύμφωνα με τις οδηγίες μαγειρέματος.</li> </ul>

## 5.2 Πρακτικές Συστάσεις προς τα νοικοκυριά

Οι καταναλωτές μπορούν να μειώσουν την έκθεση στο ακρυλαμίδιο με την κατανάλωση διαφορετικών τροφίμων σύμφωνα με τις γενικές διατροφικές συστάσεις: ακολουθώντας μια ισορροπημένη και ποικίλη διατροφή και τρώγοντας με μέτρο.

Οι μέθοδοι μαγειρέματος που χρησιμοποιεί το κάθε νοικοκυριό επηρεάζουν επίσης σε μεγάλο βαθμό την έκθεση στο ακρυλαμίδιο. Είναι πρακτικά αδύνατο να αποφευχθεί πλήρως ο σχηματισμός ακρυλαμιδίου κατά τη διαδικασία μαγειρέματος, αλλά τα επίπεδα μπορούν να μειωθούν, π.χ. αποφεύγοντας την υπερβολική θέρμανση των τροφίμων μέσω τηγανίσματος, σοταρίσματος ή ψησίματος. Οι καταναλωτές καλό είναι επίσης να συμμορφώνονται με τις οδηγίες σχετικά με τις θερμοκρασίες και τους χρόνους μαγειρέματος των ημιτελών τροφίμων. Ακολουθούν συνοπτικές πρακτικές συστάσεις για μερικά προϊόντα ευρείας κατανάλωσης, στα οποία ο λάθος χειρισμός μπορεί να εκτοξεύσει τα επίπεδα σχηματιζόμενου ακρυλαμιδίου στα ύψη:

**Πίνακας 6: Προτεινόμενες Μέθοδοι μείωσης Ακρυλαμιδίου για τα νοικοκυριά**

Τρόφιμο	Γενικές Οδηγίες	Λεπτομερείς Συστάσεις
<b>Προϊόντα Πατάτας</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Προσπαθείτε να κόβετε την πατάτα σε μεγάλα κομμάτια.</li> <li>• Μουλιάστε, πλύνετε ή ζεματίστε τις πατάτες πριν από το τηγάνισμα.</li> <li>• Ακολουθείστε τις αναγραφόμενες στην συσκευασία οδηγίες (αν πρόκειται για έτοιμες πατάτες) ή αλλιώς τις οδηγίες του προμηθευτή σας.</li> <li>• Στοχεύστε στο χρυσοκίτρινο χρώμα και όχι στο σκούρο καστανό κατά το τηγάνισμα.</li> </ul>	<p>Για τηγάνισμα:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Μην τηγανίζετε σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 175°C.</li> <li>• Βράστε τις πατάτες πριν από το τηγάνισμα.</li> <li>• Πλύνετε ή μουλιάστε τις πατάτες στο νερό για τουλάχιστον 1 ώρα πριν το τηγάνισμα.</li> </ul> <p>Για ψήσιμο στο φούρνο:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Η θερμοκρασία ψησίματος δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 200°C.</li> <li>• Στην περίπτωση του προθερμασμένου φούρνου, η θερμοκρασία ψησίματος δεν πρέπει να</li> </ul>

		υπερβαίνει τους 180°C.
<b>Ψωμί, μπισκότα, κράκερς κ.ο.κ.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αποφεύγετε το ξεροψήσιμο της κόρας κατά την παραγωγή φρατζόλας ψωμιού.</li> <li>• Να επιδιώκετε το φρυγάνισμα του ψωμιού να μην ξεπερνάει το ανοιχτό καστανό χρώμα. Όσο πιο σκούρο, τόσο υψηλότερα τα επίπεδα ακρυλαμιδίου στην φέτα.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αντικαταστείτε το ανθρακικό αμμώνιο με άλλα ανυψωτικά μέσα (π.χ. νάτριο ή κάλιο) κατά το ψήσιμο μπισκότων</li> <li>Σημείωση: Πρέπει να δοκιμάζεται για κάθε συνταγή ξεχωριστά, καθώς μπορεί να αλλάξει η ποιότητα του προϊόντος</li> <li>• Η χρήση της μαγιάς κατά το ψήσιμο του ψωμιού μειώνει την περιεκτικότητα της ζύμης σε ασπαραγίνη και συνεπώς και τα επίπεδα του ακρυλαμιδίου στο τελικό προϊόν.</li> </ul>
<b>Προϊόντα Κρέατος</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αποφεύγετε τα παναρισμένα τρόφιμα (π.χ. σνίτσελ, κροκέτες), καθώς με το τηγάνισμα είναι αναπόφευκτη η παραγωγή ακρυλαμιδίου στην επιφάνεια της «κρούστας».</li> <li>• Στην περίπτωση παναρισμένων προϊόντων, να επιδιώκετε ψήσιμο στο φούρνο.</li> <li>• Να προσπαθείτε να μην «καρβουνιάζετε» την επιφάνεια του κρέατος, κατά το ψήσιμο στο τηγάνι ή στην ψησταριά.</li> </ul>	



## Κεφάλαιο 6

### Συμπεράσματα

Από το 2002 που το ακρυλαμίδιο πρωτοανιχνεύθηκε στα τρόφιμα έως σήμερα, έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην κατανόηση του μηχανισμού του σχηματισμού του. Είναι δεδομένο ότι η συχνότητα κατανάλωσης του διαφέρει ανάλογα με την κάθε ηλικιακή ομάδα, με τις μικρότερες ηλικίες να είναι πιο εκτεθειμένες σε αυτό, λόγω της προτίμησης σε προϊόντα ευρείας κατανάλωσης με βάση πλούσια σε υδατάνθρακες. Η συχνή κατανάλωση του ακρυλαμιδίου μπορεί να επηρεάσει την υγεία του ανθρώπου σε πολλά επίπεδα, για τον λόγο αυτό έχουν διερευνηθεί εκτενώς τρόποι και μέσα μείωσης του στα προϊόντα τροφίμων. Νέες και διαφορετικές τεχνικές επεξεργασίας, καθώς και προσθήκη πρόσθετων εφαρμόζονται όλο και περισσότερο στις βιομηχανίες τροφίμων με σκοπό τον μετριασμό του ακρυλαμιδίου. Ωστόσο, η μέθοδος που εφαρμόζεται σε ένα τρόφιμο, είναι πιθανόν να διαφέρει από άλλο. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να προσδιορίζεται η καταλληλότερη λύση για κάθε διαφορετικό τρόφιμο. Συνοψίζονται οι σημαντικότερες οδηγίες επεξεργασίας για τα κυριότερα τρόφιμα στους παραπάνω πίνακες (Πίνακες 2-6). Την ίδια στιγμή, πολύ σημαντική είναι η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών σχετικά με το ακρυλαμίδιο και την επίπτωση του στην ανθρώπινη υγεία, αλλά και η ενημέρωσή τους για τρόπους μετριασμού του σχηματισμού του. Παρακάτω προτείνονται ορισμένες ιστοσελίδες, όπου οι καταναλωτές θα μπορούσαν να επισκεφτούν και να ενημερωθούν για την σημαντικότητα της προσπάθειας μείωσης και αποφυγής του ακρυλαμιδίου από διατροφή τους, τους ισχύοντες κανονισμούς, αλλά και συμβουλές για τον τρόπο μεταχείρισης και μαγειρέματος των προϊόντων τροφίμων.

1. **U.S Food & Drug Administration (FDA) : Acrylamide Questions and Answers**  
<https://www.fda.gov/food/chemical-contaminants-food/acrylamide-questions-and-answers>
2. **World Health Organization (WHO): Acrylamide**  
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39596/924154189X-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
3. **European Commision: Acrylamide**  
[https://ec.europa.eu/food/food/chemical-safety/contaminants/catalogue/acrylamide\\_en](https://ec.europa.eu/food/food/chemical-safety/contaminants/catalogue/acrylamide_en)

4. **European Food Safety Authority (EFSA):** Acrylamide  
<https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/acrylamide>
  
5. **ΕΦΕΤ:** Επιστημονική γνωμοδότηση της EFSA επαναλαμβάνει ότι το ακρυλαμίδιο στα τρόφιμα είναι παράγοντας ανησυχίας για τη δημόσια υγεία  
<https://www.efet.gr/index.php/el/efet/home-4/efsa/nea-tis-efsa/epistimonikes-gnomodotiseis-ektheseis/item/2655-nea-tis-efsa-87>
  
6. **American Cancer Society:** Acrylamide and Cancer Risk  
<https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/acrylamide.html>
  
7. **Food Standards Agency:** Acrylamide  
<https://www.food.gov.uk/safety-hygiene/acrylamide>

## Βιβλιογραφία

- Alzahrani, H. A. (2011). Protective effect of L-carnitine against acrylamide-induced DNA damage in somatic and germ cells of mice. *Saudi Journal of Biological Sciences* 18 , 29-36.
- Anese, M., Suman, M., & Nicoli, M. C. (2010). Acrylamide removal from heated foods. *Food Chemistry* 119 , 791-794.
- Antunes-Rohling, A., Ciudad-Hidalgo, S., Mir-Bel, J., Raso, J., Cebrián, G., & Álvarez, I. (2018). Ultrasound as a pretreatment to reduce acrylamide formation in fried potatoes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 49 , 158-169.
- Aras, D., Cakar, Z., Ozkavukcu, S., Can, A., & Cinar, O. (2017). In Vivo acrylamide exposure may cause severe toxicity to mouse oocytes through its metabolite glycidamide. *PLoS One* , e0172026.
- Arvanitoyannis, I. S., & Dionisopoulou, N. (2014). Acrylamide: Formation, Occurrence in Food Products, Detection Methods and Legislation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* , 708–733.
- Becalski, A., P-Y Lau, B., Lewis, D., & Seaman, S. W. (2003). Acrylamide in foods: occurrence, sources, and modeling. *Journal of Agricultural Food and Chemistry* , 802-8.
- Besaratinia, A., & Pfeifer, G. P. (2004). Genotoxicity of Acrylamide and Glycidamide. *Journal of the National Cancer Institute* , 1023–1029.
- Biedermann, M., Biedermann-Brem, S., Noti, A., & Grob, K. (2002). *Two GC-MS Methods for the Analysis of Acrylamide in Foodstuffs*. Zurich: Official Food Control Authority of the Canton of Zürich.
- Blank, I., Robert, F., Goldmann, T., Pollien, P., Varga, N., Devaud, S., et al. (2005). Mechanisms of acrylamide formation: Maillard-induced transformation of asparagine. *Chemistry and Safety of Acrylamide in* , 171-89.
- Calleman, C. J. (1996, November 28). The metabolism and pharmacokinetics of acrylamide: implications for mechanisms of toxicity and human risk estimation. *Drug Metabolism Reviews* , σσ. 527-590.
- Claus, A., Mongili, M., Weisz, G., Schieber, A., & Carle, R. (2008). Impact of formulation and technological factors on the acrylamide content of wheat bread and bread rolls. *Journal of Cereal science* 47 , 546-554.
- Constantinou, C., & Koutsidis, G. (2016). Investigations on the effect of antioxidant type and concentration and model system matrix on acrylamide formation in model Maillard reaction systems. *Food Chemistry* 197 , 769-775.
- Daniali, G., Jinap, S., Sanny, M., & Tan, C. (2018). Effect of amino acids and frequency of reuse frying oils at different temperature on acrylamide formation in palm olein and soy bean oils via modeling system. *Food Chemistry* 245 , 1-6.

- Eichner, K., & Karel, M. (1972). Influence of water content and water activity on the sugar-amino browning reaction in model systems under various conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 20 , 218-223.
- Erdoğdu, S. B., Palazoğlu, T. K., Gökmen, V., Şenyuva, H. Z., & Ekiz, H. İ. (2006). Reduction of acrylamide formation in French fries by microwave pre-cooking of potato strips. *Journal of the Science of Food and Agriculture* , 133-137.
- Eriksson, S. (2005). Acrylamide in food products: Identification, formation and analytical methodology. *Stockholm University Department of Environmental Chemistry* .
- Exon, J. H. (2006). A Review of the Toxicology of Acrylamide. *Journal of Toxicology and Environmental Health* , 397-412.
- Fang, J., Liang, C. L., Jia, X. D., & Li, N. (2014). Immunotoxicity of Acrylamide in Female BALB/c Mice. *Biomed Environ Sci* 27 , 401-409.
- FAO/WHO. (2002, June). *Acrylamide Infonet*. Ανάκτηση από [http://www.acrylamide-food.org/acry\\_documentation.htm](http://www.acrylamide-food.org/acry_documentation.htm)
- Fraselle, S., Mestdagh, F., Wilde, T., Govaert, Y., Ooghe, W., Degroodt, J.-M., et al. (2008). Optimization of the blanching process to reduce acrylamide in fried potatoes. *Technologie Alimentaire* , 1648-1654.
- Friedman, M. (2015). Acrylamide: inhibition of formation in processed food and mitigation of toxicity in cells, animals, and humans. *Food & Function* 6 , 1752–1772.
- Friedman, M. (2003). Chemistry, Biochemistry, and Safety of Acrylamide. A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* , 4504–4526.
- Ginsberg, J. (2007, November 14). Sohio Acrylonitrile Process. *National Historic Chemical Landmark* , σσ. 1-4.
- Hodge, J. E. (1953). Dehydrated Foods, Chemistry of Browning Reactions in Model Systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 15 , 928-943.
- Jouhara, H., Koupsi, Y., AL-Bachir, M., & Abboudi, M. (2016). Combined Effects of Gamma Irradiation and Blanching Process on Acrylamide Content in Fried Potato Strips. *International Journal of Food Properties* 19 , 1447-1454.
- Kalita, D., & Jayanty, S. S. (2013). Reduction of acrylamide formation by vanadium salt in potato French fries and chips. *Food Chem* , 644-649.
- Kita, A., Bråthen, E., Knutsen, S. H., & Wicklund, T. (2004). Effective ways of decreasing acrylamide content in potato crisps during processing. *Journal of Agricultural Food and Chemistry* , 7011-7016.
- Maan, A. A., Anjum, M. A., Khan, M. K., Nazir, A., Saeed, F., Afzaal, M., et al. (2020). Acrylamide Formation and Different Mitigation Strategies during Food Processing – A Review. *Food Reviews International* .

- Matthäus, B., Haase, N. U., & Vosmann, K. (2004). Factors affecting the concentration of acrylamide during deep-fat frying of potatoes. *European Journal of Lipid Science and Technology* 106 , 793-801.
- Michalak, J., Gujska, E., & Klepacka, J. (2011). The effect of domestic preparation of some potato products on acrylamide content. *Plant Foods for Human Nutrition* , 307-312.
- Miller, M. J., Carter, D. E., & Sipes, I. G. (1982, March 30). Pharmacokinetics of acrylamide in Fisher-344 rats. *Toxicology and Applied Pharmacology* , 36-44.
- Ministry of Agriculture, F. a. (n.d.). *What we can do at home to reduce acrylamide in foods*. Retrieved from [https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/acryl\\_amide/a\\_syosai/teigen/pdf/aa\\_booklet\\_en.pdf](https://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/acryl_amide/a_syosai/teigen/pdf/aa_booklet_en.pdf)
- Mottram, Wedzicha, & Dodson. (2002, October 3). Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature* , σσ. 448-449.
- National Cancer Institute. (n.d.). *Acrylamide and Cancer Risk*. Ανάκτηση από <https://www.cancer.gov/>: <https://www.cancer.gov/about-cancer/causes-prevention/risk/diet/acrylamide-fact-sheet>
- National Library of Medicine. *Acrylamide*. Rockville Pike USA: National Center for Biotechnology Information.
- Ötles, S., & Ötles, S. (2004). Acrylamide in Food- Formation of Acrylamide and its Damages on Health. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* 7 , Issue 2.
- Palazoğlu, T. K., Coşkun, Y., Tuta, S., Mogol, B. A., & Gökmen, V. (2015). Effect of vacuum-combined baking of cookies on acrylamide content, texture and color. *European Food Research & Technology* , 243-249.
- Pedreschi, F., Kaack, K., & Granby, K. (2004). Reduction of acrylamide formation in fried potato slices. *LWT- Food Science and Technology* 37 , 679-685.
- Pedreschi, F., Kaack, K., Granby, K., & Troncoso, E. (2007). Acrylamide Reduction under Different pre-treatments in French fries. *Journal of Food Engineering* 79 , 287-1294.
- Rydberg, P., Eriksson, S., Tareke, E., Karlsson, P., Ehrenberg, L., & Törnqvist, M. (2003). Investigations of Factors That Influence the Acrylamide Content of Heated Foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 , 7012-7018.
- Saboktakin, M. (2012). Acrylamide, Synthesis and Properties. Στο *Advances in Chemistry Research*. Nova publishers.
- Salazar, R., Arámbula-Villa, G., Luna-Bárceñas, G., Figueroa-Cárdenas, J., Azuara, E., & Vázquez-Landaverde, P. (2014). Effect of added calcium hydroxide during corn nixtamalization on acrylamide content in tortilla chips. *Food Science and Technology* 56 , 87-92.

- Sansano, M., Juan-Borrás, M., Escriche, I., Andrés, A., & Heredia, A. (2015). Effect of Pretreatments and Air-Frying, a Novel Technology, on Acrylamide Generation in Fried Potatoes. *Journal of Food Science* , T1120-8.
- Stadler, R. H., Robert, F., Riediker, S., Varga, N., Davidek, T., Devaud, S., et al. (2004). In-depth mechanistic study on the formation of acrylamide and other vinylogous compounds by the maillard reaction. *J. Agric. Food Chem* 52 , 5550-5558.
- Taeymans, D., Wood, J., Ashby, P., Blank, I., Studer, A., Stadler, R. H., et al. (2004). A review of Acrylamide: An industry perspective on research, analysis, formation, and control. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 44 , 323-347.
- Vattem, D. A., & Shetty, K. (2003). Acrylamide in food: a model for mechanism of formation and its reduction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* , 331-338.
- Wang, S., Yu, J., Xin, Q., Wang, S., & Copeland, L. (2017). Effects of starch damage and yeast fermentation on acrylamide formation in bread. *Food Control* 73 , 230-236.
- WHO. (1985). ACRYLAMIDE. *Environmental Health Criteria* 49 , σσ. 1-85.
- WHO. (2011). Acrylamide in Drinking-water. *World Health Organisation* .
- Wikipedia. *Acroleine*.
- Wikipedia. *Acrylamide*.
- Williams, J. (2005). Influence of variety and processing conditions on acrylamide levels in fried potato chips. *Food Chemistry* 90 , 875-881.
- Xu, Y., Cui, B., Ran, R., Liu, Y., Chen, H., Kai, G., et al. (2014). Risk assessment, formation, and mitigation of dietary acrylamide: Current status and future prospects. *Food and Chemical Toxicology* , 1-12.
- Yaylayan, V. A., Wnorowski, A. W., & Locas, C. P. (2003). Why Asparagine Needs Carbohydrates To Generate Acrylamide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 , 1753-1757.
- Yuan, Y., Shu, C., Zhou, B., & Qi, X. (2011). Impact of selected additives on acrylamide formation in asparagine/sugar Maillard model systems. *Food Research International* 44 , 449-455.
- Zamani, E., Shokrzadeh, M., Fallah, M., & Shaki, F. (2017). A review of acrylamide toxicity and its mechanism. *Pharmaceutical and Biomedical Research* 3 , 1-7.
- Zhang, Y., Fang, H., & Zhang, Y. (2008). Study on formation of acrylamide in asparagine-sugar microwave heating systems using UPLC-MS/MS analytical method. *Food Chemistry* , 542-550.
- Zou, Y., Huang, C., Pei, K., Cai, Y., Zhang, G., Hu, C., et al. (2015). Cysteine alone or in combination with glycine simultaneously reduced the contents of acrylamide and hydroxymethylfurfural. *Food Science and Technology* 63 , 275-280.

Zyzak, D. V., Sanders, R. A., Stojanovic, M., Tallmadge, D. H., Eberhart, B. L., Ewald, D. K., et al. (2003). Acrylamide Formation Mechanism in Heated Foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51 , 4782-4787.