

ABSTRACT

In recent years, consumers' focus to healthy lifestyle is increasing significantly. Therefore, on food market the demand for safe, minimally processed and healthy food products is growing exponentially.

Food industries, consequently, started redesigning their market strategy and production in favour of healthy and nutritious food products.

In the context of processes related to the food industry, thermal treatments, such as heating, drying, sterilization, pasteurization, are a set of processes able to guarantee shelf-life enhancement of the treated product and improvement of the food safety. Conventional heating methods are characterized by high temperatures gradients and long-time lasting processes due to slow heating regions within the processed food. To prevent the possibility that in the slowest heating regions of the food products there is an insufficient thermal inactivation of pathogen microorganisms, in conventional heating methods foods are often over processed. This brings to the degradation of important food components, such as vitamins, proteins and other desirable food compounds. In addition, they can influence the organoleptic properties and quality of the treated food products, bringing to a loss of nutrients, texture and colour. To address these problems, novel thermal technologies, based on electro-heating, such as Moderate Electric Field (MEF), have been developed. MEF heating process is based on the passage of an electric current through a conductive material. This method allows to reduce energy consumption and processing time, compared to conventional heating methods, due to its volumetric heating nature.

MEF has the potential to heat homogenous food materials rapidly and uniformly. However, the heating uniformity of heterogeneous food products, with components, and thus properties, of different nature, represents a challenge for MEF heating applications. There is, indeed, a lack of information regarding MEF heating of heterogeneous systems.

For this reason, this PhD work focused on the investigation and analysis on the MEF heating feasibility to heterogeneous food systems.

Being based on the passage of electric current in a food item, MEF requires food product having a certain electrical conductivity (and thus a certain ionic content) to be effective. So, a first part of the work was devoted to analyze how the different ionic content influenced the heating of an heterogeneous food system (meatballs in reconstituted potato puree), regardless of the taste of the food.

The first part of the work consisted in the study of the relevant aspects of this process, also in order to be able to design and build a MEF unit at University of Salerno, Italy. Then, a first experimental campaign was developed at University College Dublin (Dublin, Ireland) including a training on a MEF system already available among the facilities of the School of Life Sciences. First of all, MEF heating of a homogeneous food system, composed by reconstituted potato flakes puree at 5.7% and 10.9% ionic content, was investigated. Obtained results showed a good uniform heating in the three key points analyzed.

Subsequently, a heterogeneous food system composed by reconstituted potato flakes puree (RPF), at 5.7% and 10.9% ionic content, and meatballs was investigated. Meatballs were heated in reconstituted potato flakes considering different system configurations (2PSiRP, 2PAiRP, 3PiRP). Results showed that, even if the components are characterized by different electrical conductivities (5.60 S/m for RPF at 5.7%, 9.75 S/m for RPF at 10.9% and 1.46 S/m for meatballs), a heterogeneous system can be evenly heated by MEF, with the right choice of ingredients. Particularly, meatballs in reconstituted potato flakes puree with 5.7% ionic content showed a heating dynamic similar to the reconstituted potato flakes in which they were dispersed, while a further increase of the ionic content (10.9%) shortened the time required to reach a target temperature, but it also increased

the difference in heating between meatballs and potatoes, producing a less even heating. Meatballs' heating did not depend on their relative position, but it was affected by the number of meatballs in the system. Moreover, results showed that spherical geometry gives to the meatballs a different and higher local potential variation than reconstituted potato flakes in which they were heated. Furthermore, for a symmetric heterogeneous system (2PSiRP) the effect of different applied voltages (20 V, 30 V, 40 V) was investigated: it was proven that, both for meatball and potatoes, the heating time to target increased as the applied voltage decreased.

In the second year at University of Salerno, to carry out further experimental tests and studies a MEF heating system was designed and developed.

A first set of MEF heating experimental tests was carried out, at different applied voltages (30 V, 40 V, 50 V, in order to test the behaviour of the system at different electric field strengths), on two homogeneous food system, composed, respectively, by only reconstituted potato flakes, one with butter among the ingredients (RPFb) and one not (RPFNB), at different salt compositions (RPFb at 0%, 2.9% and 5.7% salt content; RPFNB at 0.37%, 0.74%, 1.39% and 2.75% salt content). For both analyzed homogeneous system, a good uniform heating was obtained in the three investigated points. Obviously, higher the salt content, higher the electrical conductivity and higher the temperature reached from the different analyzed homogeneous system at the target time.

Obtained results of the homogeneous system RPFb were compared with the ones obtained from the system RPF: the two homogeneous systems were affected from the different applied electric field strength. RPFb system was subjected to an electric field strength higher (0.43 V/cm) than RPF (0.30 V/cm). RPFb reached at the same target time a higher temperature than RPF. Therefore, it was proved that higher the electric field strength applied and greater the heating.

Another set of experimental tests was carried out on a heterogeneous food system composed by reconstituted potato flakes (RPFb) at different salt contents (0%, 2.9% and 5.7%) and meatballs. Chicken meatballs were heated in RPFb using different configurations (2PSiRP, 2PAiRP, 3PiRP). For configuration 2PSiRP, results showed that meatballs reached, at target time, a higher temperature than reconstituted potato flakes. This was linked to the proximity to the electrodes and to the fact that, due to the spherical geometry, meatballs were more affected from electrical field strength than reconstituted potato flakes.

Finally, a mathematical modeling of MEF assisted heating of foods, has been embedded in a simulation tool able to explore further MEF heating scenarios and to propose the design of more efficient MEF treatment cells.

Abstract

Negli ultimi anni, l'attenzione dei consumatori verso uno stile di vita sano sta aumentando in modo significativo. Pertanto, sul mercato alimentare la domanda di prodotti alimentari sicuri, minimamente trasformati e sani sta crescendo in modo esponenziale.

Le industrie alimentari, di conseguenza, hanno iniziato a ridisegnare la loro strategia di mercato e la produzione a favore di prodotti alimentari sani e nutrienti. Nell'ambito dei processi legati all'industria alimentare, i trattamenti termici, come il riscaldamento, l'essiccazione, la sterilizzazione, la pastorizzazione, sono un insieme di processi in grado di garantire la shelf-life del prodotto trattato e il miglioramento della sicurezza alimentare. I metodi di riscaldamento convenzionali sono caratterizzati da gradienti di temperatura elevati e processi di lunga durata dovuti a zone di riscaldamento lente all'interno degli alimenti trasformati. Per prevenire la possibilità che nelle regioni di riscaldamento più lente dei prodotti alimentari vi sia un'inattivazione termica insufficiente dei microrganismi patogeni, nei metodi di riscaldamento convenzionali gli alimenti vengono spesso processati più del necessario. Ciò porta alla degradazione di importanti componenti alimentari, come vitamine, proteine e altri composti alimentari desiderabili. Inoltre, possono essere influenzate le proprietà organolettiche e la qualità dei prodotti alimentari trattati, portando ad una perdita di nutrienti, consistenza e colore. Per affrontare questi problemi, sono state sviluppate nuove tecnologie termiche, basate sull'elettro-riscaldamento, come il campi elettrici moderati (MEF). Il processo di riscaldamento MEF si basa sul passaggio di corrente elettrica attraverso un materiale conduttivo. Questo metodo consente di ridurre il consumo di energia e il tempo di processo, rispetto ai metodi di riscaldamento convenzionali, grazie alla sua natura di riscaldamento volumetrico. Il MEF ha il potenziale di riscaldare in modo rapido e uniforme alimenti omogenei. Tuttavia, l'uniformità di riscaldamento di prodotti alimentari eterogenei, con componenti, e quindi proprietà, di diversa natura rappresenta una sfida per le applicazioni di riscaldamento MEF. Mancano infatti informazioni sul riscaldamento MEF di sistemi eterogenei.

Per questo motivo, questo lavoro di dottorato si è basato sull'indagine e sull'analisi della fattibilità del riscaldamento MEF a sistemi alimentari eterogenei.

Essendo basato sul passaggio di corrente elettrica in un alimento, il riscaldamento MEF richiede che l'alimento abbia una certa conducibilità elettrica (e quindi un certo contenuto ionico) per essere efficace. Una prima parte del lavoro è stata quindi dedicata ad analizzare in che modo il diverso contenuto ionico influisce sul riscaldamento di un sistema alimentare eterogeneo (polpette in purè di patate), indipendentemente dal gusto dell'alimento.

La prima parte del lavoro ha riguardato lo studio degli aspetti rilevanti di tale processo, anche per poter progettare e costruire un sistema MEF presso l'Università degli studi di Salerno. Successivamente, sono stati condotti degli esperimenti presso l'University College Dublin (Dublino, Irlanda) utilizzando un sistema MEF già disponibile tra le strutture della School of Life Sciences. In primo luogo, è stato studiato il riscaldamento MEF di un sistema alimentare omogeneo, composto da purè di patate al 5.7% e 10.9% di contenuto ionico. I risultati ottenuti hanno mostrato una buona uniformità di riscaldamenti nei tre punti chiave analizzati.

Successivamente, è stato studiato un sistema alimentare eterogeneo composto da purè di patate (RPF) al 5.7% e 10.9% di contenuto ionico, e polpette. Le polpette sono state riscaldate nel purè di

patate considerando diverse configurazioni di sistema (2PSiRP, 2PAiRP, 3PiRP). I risultati hanno mostrato che, anche se i componenti del sistema sono costituiti da conducibilità elettriche diverse (5.60 S/m per RPF al 5.7%, 9.75 S/m per RPF al 10.9% e 1.46 S/m per le polpette), un sistema eterogeneo può essere riscaldato uniformemente con MEF, effettuando la giusta scelta degli ingredienti. In particolare, le polpette nel purè di patate al 5.7% di contenuto ionico hanno mostrato una dinamica di riscaldamento simile al purè di patate in cui erano disperse, mentre un ulteriore del contenuto ionico (10.9%) ha ridotto il tempo necessario per raggiungere la temperatura target, ma ha aumentato la differenza di riscaldamento tra polpette e patate, dando luogo ad un riscaldamento meno uniforme. Il riscaldamento delle polpette non dipendeva dalla loro posizione ma era influenzato dal numero di polpette nel sistema.

Inoltre, i risultati hanno mostrato che la geometria sferica conferisce alle polpette una variazione del potenziale locale diversa e maggiore rispetto al purè di patate in cui sono state riscaldate. Inoltre, per un sistema simmetrico eterogeneo (2PSiRP) è stato studiato l'effetto di diversi voltaggi applicati (20 V, 30 V, 40 V): è stato dimostrato che, sia per le polpette che per le patate, il tempo di riscaldamento per raggiungere il target aumentava al diminuire del voltaggio applicato.

Al secondo anno, presso l'Università degli studi di Salerno, per svolgere ulteriori prove e studi sperimentali, è stato progettato e realizzato un sistema di riscaldamento MEF.

Una prima serie di prove sperimentali di riscaldamento MEF è stata effettuata a diversi voltaggi (30 V, 40 V, 50 V, al fine di testare il comportamento del sistema a diverse intensità di campo elettrico), su due sistemi alimentari omogenei, composti, rispettivamente, da solo purè di patate, uno con burro tra gli ingredienti (RPFB) e uno senza (RPFNB), a differenti composizioni di sale (RPFB a 0%, 2.9% and 5.7% di contenuto salino; RPFNB a 0.37%, 0.74%, 1.39% and 2.75% di contenuto salino). Per entrambi i sistemi omogenei analizzati si è ottenuta una buona uniformità di riscaldamento nei tre punti analizzati. Ovviamente, maggiore è il contenuto di sale, maggiore è la conducibilità elettrica e maggiore è la temperatura raggiunta dai diversi sistemi omogenei analizzati al tempo target.

I risultati ottenuti dal sistema omogeneo RPFB sono stati confrontati con quelli ottenuti dal sistema RPF: i due sistemi omogenei erano influenzati dalla diversa intensità di campo elettrico applicata. Il sistema RPFB era sottoposto a una intensità di campo elettrico maggiore (0.43 V/cm) rispetto al sistema RPF (0.30 V/cm). RPFB raggiungeva allo stesso tempo target una temperatura più alta di RPF. Pertanto, è stato dimostrato che maggiore è l'intensità del campo elettrico applicato e maggiore è il riscaldamento.

Un'altra serie di prove sperimentali è stata condotta su un sistema alimentare eterogeneo costituito da purè di patate (RPFB) a diversi contenuti di sale ((0%, 2,9% e 5,7%) e polpette. Le polpette di pollo sono state riscaldate nel sistema RPFB utilizzando diverse configurazioni (2PSiRP, 2PAiRP, 3PiRP). Per la configurazione 2PSiRP, i risultati hanno mostrato che le polpette hanno raggiunto, al tempo target, una temperatura più alta rispetto al purè di patate. Ciò era legato alla vicinanza degli elettrodi e al fatto che, a causa della geometria sferica, le polpette risentivano maggiormente dell'intensità del campo elettrico rispetto al purè di patate.

Infine, una modellazione matematica del riscaldamento MEF è stata incorporata in uno strumento di simulazione in grado di esplorare ulteriori scenari di riscaldamento MEF e di proporre la progettazione di celle di trattamento MEF più efficienti.