

L'obiettivo primario dei processi di sanitizzazione e di trasformazione è quello di rendere gli alimenti conservabili nel tempo, edibili e più gustosi. Questo scopo non può però essere disgiunto da fattori importanti quali il mantenimento del loro patrimonio nutritivo e la sostenibilità di processo. Da ciò l'interesse verso tecnologie più efficaci e allo stesso tempo meno invasive, da applicare per ottenere prodotti alimentari di elevata qualità.



## QUALITÀ ED EFFICIENZA CON L'USO DI MICROONDE NEL TRATTAMENTO DI ALIMENTI

di Annalisa  
Dalmoro<sup>1</sup>, Anna  
Angela Barba<sup>1</sup>,  
Silvestro Caputo<sup>2</sup>



### TECNOLOGIE INNOVATIVE PER LA STABILIZZAZIONE E LATRASFORMAZIONE DEGLI ALIMENTI

Nel corso degli anni l'industria alimentare ha esplorato diverse strade per l'innovazione delle tecnologie di trasformazione e stabilizzazione sviluppando operazioni quali, ad esempio, la liofilizzazione e lo spray drying che hanno permesso delle vere e proprie rivoluzioni nell'approntamento di alimenti con alto profilo qualitativo, per il mantenimento di proprietà nutrizionali e sensoriali, nonché con carattere di estrema sicurezza. La necessità sempre più stringente nell'attuare protocolli di processo sicuri, con ridotto impatto ambientale, razionalizzati per risorse energetiche e umane (intensificazione di processo) nonché nell'applicare tecniche che soddisfino le esigenze industriali attuali senza compromettere quelle delle generazioni future (sostenibilità di processo), ha indirizzato sempre più verso la conduzione di processi di natura fisica. Tra questi oggi sono rilevanti, per gli investimenti della ricerca scientifica e

dell'impresa industriale, i protocolli per trattamenti di sanitizzazione/trasformazione a caldo degli alimenti basati sull'uso di microonde. Le microonde (MW) sono onde elettromagnetiche la cui frequenza è compresa nell'intervallo 300 MHz - 1 THz, ovvero si collocano nello spettro elettromagnetico tra le onde radio e i raggi infrarossi. Le frequenze di uso più comune per scopi industriali (in forni di riscaldamento) sono 915 e 2450 MHz [1].

L'uso di microonde nei processi di stabilizzazione/trasformazione è particolarmente efficace poiché rende possibili trattamenti termici con cinetiche veloci a tutto vantaggio dell'aumento della produttività di impianto, selettivi (possono interessare solo parti del prodotto irradiato), e di tipo volumetrico (può essere coinvolto l'intero volume dell'alimento da trattare, compatibilmente alle sue caratteristiche dielettriche e alle dimensioni). Ciò è possibile perché nei trattamenti a microonde la generazione di calore ha luogo direttamente nel

<sup>1</sup> Dipartimento di Farmacia, Università degli Studi di Salerno  
<sup>2</sup> Consorzio per la Ricerca Applicata in Agricoltura, CRAA



materiale da riscaldare a causa della diretta interazione tra onda elettromagnetica e materia, per cui i classici fenomeni di trasporto del calore quali la conduzione (diffusione del calore all'interno del materiale) e la convezione (che interessa particolarmente i materiali fluidi e l'ambiente di processo), pur avendo luogo, sono in genere più lenti e non predominanti. La condizione fondamentale affinché si abbia un'efficace azione riscaldante è la fattiva interazione tra il campo elettromagnetico applicato e il materiale da processare. Le proprietà dielettriche (espresse con la costante dielettrica e il fattore di perdita) dei materiali esprimono le loro capacità dissipative ovvero l'intensità dell'interazione possibile campo/materia. Le capacità dissipative dipendono dalla costituzione del materiale (composizione, in particolare dal contenuto di umidità), dalla temperatura, dalla frequenza e dalla intensità del campo elettromagnetico applicato. Alle caratteristiche dielettriche dei materiali è strettamente legata anche la possibilità di avere un riscaldamento volumetrico. La profondità di penetrazione, ovvero l'entità dell'avanzamento di un campo elettromagnetico e quindi del

riscaldamento nel materiale che si sta irradiando, costituisce un parametro di importanza basilare nella tecnologia del riscaldamento a microonde in quanto è indice della distribuzione spaziale dei fenomeni dissipativi nei materiali irradiati [2]. All'ottenimento del riscaldamento volumetrico contribuiscono inoltre le proprietà termofisiche degli alimenti quali il calore specifico, la conducibilità termica e la diffusività termica, proprietà che definiscono i flussi di calore nei materiali esposti alle microonde e che di-



**In questo lavoro sono descritti studi di caratterizzazione prettamente termofisica pre- e post- trattamento assistito da microonde, condotti su semi di grano duro e ceci, selezionati, rispettivamente, come matrici alimentari modello per cereali e legumi**

## Le attività di ricerca del Gruppo TPP

Il Gruppo di Fenomeni di Trasporto e Processi (Gruppo TPP) svolge attività di ricerca industriale presso l'Università degli Studi di Salerno. Il Gruppo TPP è costituito da ricercatori del Dipartimento di Ingegneria Industriale e del Dipartimento di Farmacia. Le sue linee di ricerca principali sono: produzione e caratterizzazione di micro- e nano-particelle per il rilascio controllato dei farmaci; sviluppo di tecnologie innovative per il testing di forme farmaceutiche e modellazione matematica; produzione e caratterizzazione di prodotti per applicazioni in agricoltura e zootecnia; scienza e tecnologia alimentari. Il Gruppo TPP è aperto a collaborazioni industriali per la ricerca finalizzata. Maggiori informazioni su [www.minerva.unisa.it](http://www.minerva.unisa.it)

pendono dalla natura degli stessi alimenti.

### APPLICAZIONE DI TRATTAMENTI ASSISTITI DA MICROONDE

Una delle recenti attività del Gruppo Fenomeni di Trasporto e Processi (TPP, Transport Phenomena & Processes) dell'Università degli Studi di Salerno (la cui composizione, attività e prodotti possono essere approfonditi al sito: [www.minerva.unisa.it](http://www.minerva.unisa.it)) è incentrata sull'applicazione dei trattamenti a microonde per la disinfestazione di prodotti cerealicoli e di legumi in granella (progetto finanziato Tecnagri – PSR Campania 2007-2013 Misura 124). La loro stabilizzazione, prima di operazioni di stoccaggio o di altre lavorazioni di trasformazione, è una delle fasi più importanti delle diverse filiere produttive. Svariati sono i metodi convenzionalmente utilizzati per rendere le matrici citate non passibili di degradazioni chimico-fisiche e biologiche. Essi sono di tipo fisico (uso di basse e di elevate temperature) e chimico (uso di sostanze chimiche come la fosfina o di inerti, come polveri di bentonite o anidride carbonica). I metodi di stabilizzazione di tipo chimico sono da sempre poco graditi poiché considerati invasivi per la salubrità dei prodotti trattati, per l'impatto ambientale negativo (movimentazione di sostanze chimiche, rilasci

nell'ambiente) che comportano e per i costi e la durata di trattamento (dell'ordine dei giorni). D'altra parte i metodi fisici presentano anch'essi criticità per le possibili azioni degradative che possono indurre (soprattutto se si usano le alte temperature per lunghi tempi) e i costi di processo.

Dalla letteratura scientifica [3, 4] è ben noto che semi di cereali e di legumi possono essere sanitizzati mediante l'uso di microonde grazie alle principali peculiarità del riscaldamento elettromagnetico: rapidità e selettività. In particolare, l'uso delle microonde permette l'ottenimento di condizioni di trattamento di high temperature - short time con conseguente minimizzazione delle perdite di nutrienti negli alimenti per i ridotti tempi di esposizione al calore, e, al contempo, il raggiungimento delle condizioni letali per debellare gli organismi infestanti. Di fatto la diversa composizione degli infestanti (nei diversi stadi fisiologici di sviluppo: dallo stato larvale a quello finale) rispetto a quella dei semi, in particolare, molto più favorevole alla dissipazione dell'energia delle microonde, rende i primi selettivamente e severamente più esposti a incrementi di temperatura (fino al raggiungimento, in tempi estremamente rapidi, delle condizioni termiche letali). Le criticità più rilevanti delle applicazioni delle microonde sono insite nelle lacunose conoscenze delle caratteristiche termofisiche dei materiali cerealicoli e di leguminose (abilità a trasformare l'energia elettromagnetica in calore, diffusione del calore), e sui possibili effetti avversi inducibili nelle matrici trattate (inibizione della germinazione, danno tissutale ecc.). Le attività di ricerca in corso del Gruppo Fenomeni di Trasporto e Processi mirano proprio all'incremento delle conoscenze di alcune importanti proprietà delle matrici cerealicole e di leguminose da granella, data la loro rilevanza nella messa a punto di protocolli di stabilizzazione: in relazione alle proprietà termofisiche (proprietà dielettriche, contenuto di umidità, conducibilità termica, diffusività termica) nonché

## Anna Angela Barba

Si è laureata con lode in Ingegneria Chimica nel maggio 1997 presso l'Università degli Studi di Salerno e ha conseguito il titolo di dottore di ricerca in Ingegneria Chimica nel 2002. È stata borsista CNR nell'anno 1999 e post-doc nel biennio 2002-2004 e ha avuto incarichi di collaborazione coordinata e continuativa presso il Dipartimento di Ingegneria Chimica ed Alimentare dell'Università degli Studi di Salerno (2004-2005) per la progettazione di apparecchiature a microonde e lo sviluppo di metodologie di trattamento di materiali di interesse dell'industria chimica e alimentare. Dal 2008 è ricercatore confermato e professore aggregato e svolge servizio presso il Dipartimento di Farmacia, Facoltà di Farmacia e Medicina. Le attività di ricerca svolte dall'ingegner Barba possono essere ricondotte fondamentalmente a tre settori di ricerca interconnessi: progettazione di apparecchiature e definizione di protocolli per processi di disinquinamento ambientale, per l'industria alimentare (ottimizzazione delle operazioni unitarie classiche) e farmaceutica (aspetti fenomenologici/modellistici, produzione di sistemi particellari per la veicolazione di molecole attive) basati sull'uso di campi elettromagnetici (CEM, regione delle microonde) e di ultrasuoni; sviluppo di nuovi materiali (per la veicolazione sito specifica dei farmaci) e tecniche di produzione di sistemi farmaceutici (stent medicati) nonché di dispositivi in vitro per studi di caratterizzazione dei sistemi prodotti; analisi dei meccanismi di interazione tra CEM e materiali.



strutturali e meccaniche, si possono definire i parametri di processo ottimali (potenza radiativa, tempo di esposizione) a tutto beneficio della qualità dei prodotti trattati e dell'efficienza delle operazioni di irraggiamento.

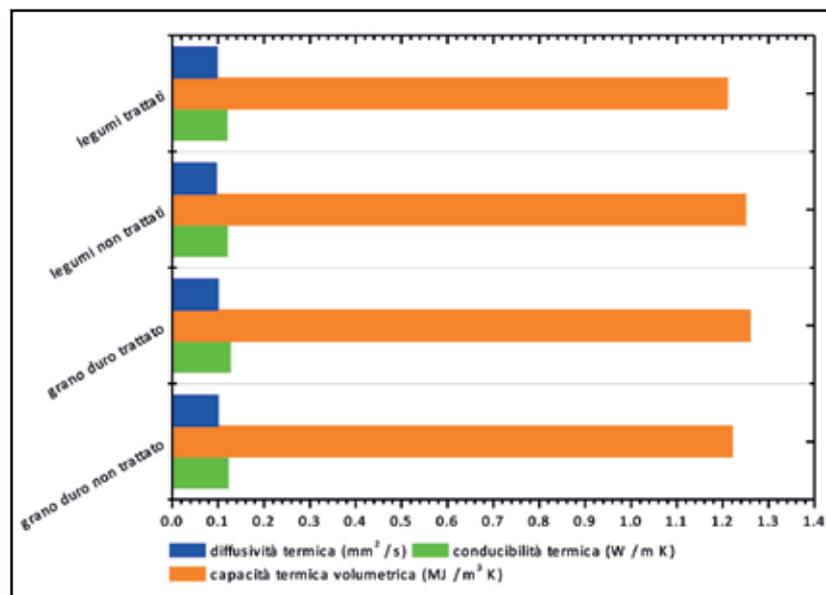
In seguito sono descritti i risultati di studi di caratterizzazione prettamente termofisica, pre- e post- trattamento assistito da microonde, condotti su semi di grano duro e ceci, selezionati, rispettivamente, come matrici alimentari modello per cereali e legumi.

### METODI APPLICATI

I semi di grano duro e i ceci utilizzati nella sperimentazione sono stati campionati dallo stesso batch di raccolta e suddivisi in modo da costituire diversi lotti destinati a fungere da campioni non trattati o pre- trattamento e campioni irradiati o post- trattamento.

L'irraggiamento a microonde è stato condotto in una cavità multimodale chiusa (LBP 210/50 Microwave Oven 2300 W, InLand, Usa; 2450 MHz) equipaggiata con due agitatori modali.

**Figura 1. Proprietà di trasporto del calore misurate per semi di grano duro e legumi (ceci) prima e dopo trattamento a microonde**



All'interno della cavità le granelle sono state irradiate in condizioni statiche (sono state poste in un contenitore Pirex) formando un letto di spessore pari a 4 cm. Si è scelto di impostare una potenza di 1 kW e di variare il tempo di esposizione. Per simulare le condizioni di disinfestazione si è deciso di operare garantendo il raggiungimento di 70°C nella massa dei due tipi di matrici irradiando per 1'15" e 1'40", rispettivamente, il grano duro e i ceci (le condizioni impostate derivano da studi di letteratura [3, 5]).

Le caratterizzazioni termofisiche sono state eseguite sulle granelle tal quali e su polveri ottenute dalla loro macinazione, pre- e post- irraggiamento, proseguendo quindi con trattamenti di ammollo in acqua (swelling) e di cottura. Le caratterizzazioni eseguite, in particolare, sono state: proprietà dielettriche; contenuto di umidità; dimensioni; densità; conducibilità termica; capacità termica volumetrica e diffusività termica; rigonfiamento e perdita di elettroliti dopo immersione in acqua (swelling test); proprietà meccaniche (resistenza alla penetrazione dei tegumenti esterni post-swelling e post-cottura); valutazione delle proprietà germinative.

## RISULTATI

Sia i semi di grano duro che i ceci sono stati caratterizzati prima di tutto dal punto di vista dielettrico osservando capacità dissipative modeste, come atteso, visto il basso contenuto di umidità presente (6% grano duro, 8% ceci). Le modeste proprietà dissipative (fattore di perdita inferiore all'unità) consentono in ogni modo la possibilità di un riscaldamento veloce e una profondità di penetrazione di oltre 4 cm. La breve ma efficace esposizione alle microonde riduce ulteriormente il tenore di umidità (5% grano duro; 7% ceci) contribuendo alla stabilizzazione delle matrici trattate. La caratterizzazione dimensionale sia dei semi di grano duro che dei ceci non ha messo in evidenza variazioni pre- e post-irraggiamento, come anche l'analisi di conducibilità termica, capacità termica

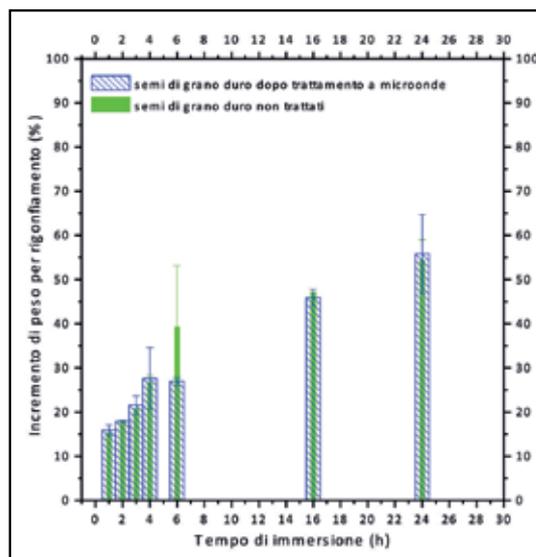


Figura 2. Incremento di peso per rigonfiamento dei semi di grano duro pre- e post- trattamento a microonde

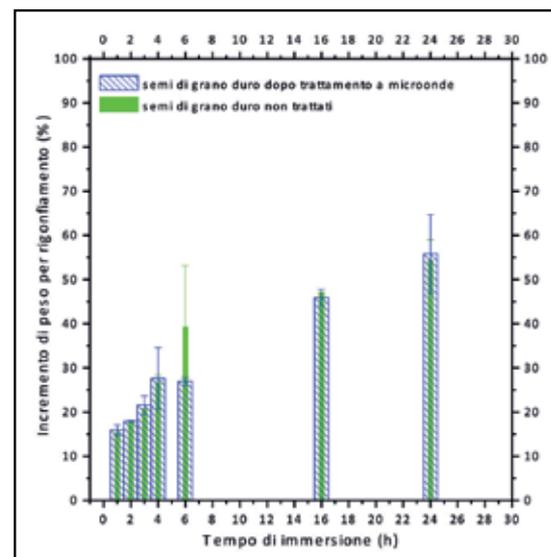


Figura 3. Incremento di peso per rigonfiamento di legumi (ceci) pre- e post- trattamento a microonde



volumetrica e diffusività termica (valutate con un misuratore di flusso termico inserito nella massa delle matrici macinate - tapped density grano duro: 740 kg/m<sup>3</sup>; tapped density ceci: 700 kg/m<sup>3</sup>). I risultati ottenuti confermano, dunque, la sostanziale non alterazione delle principali proprietà del trasporto di calore delle granelle investigate, proprietà che hanno anche una grande incidenza nelle trasformazioni di filiera in genere applicate. In figura 1 sono riportati i dati misurati posti a confronto.

A conferma del fatto che le matrici trattate non hanno subito alterazioni sono stati condotti test di germinazione (ponendo i semi su un letto spugnoso costantemente idratato) che hanno permesso di osservare la formazione di germogli in tempi e di entità di sviluppo del tutto simili tra semi irradiati e non.

I semi di grano duro e i ceci irradiati (e

non irradiati per controllo) sono stati quindi immersi in acqua distillata per investigare i fenomeni di rigonfiamento (swelling), il rilascio di sostanze saline (perdita di elettroliti) e la resistenza di penetrazione dei tegumenti esterni (pellicine esterne dei semi) simulando una delle fasi di trasformazione delle matrici eseguita sia industrialmente che in ambito domestico (l'ammollo in acqua).

Nelle figure 2 e 3 sono messi a confronto gli incrementi di peso (%) delle matrici trattate e non, in funzione del tempo (h). Come si può osservare l'esposizione alle microonde non modifica le capacità di rigonfiamento sia dei semi di grano che dei legumi (ceci).

Anche le osservazioni sulle perdite di elettroliti (figure 4 e 5) evidenziano sostanzialmente lo stesso andamento: le misure di conducibilità elettrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) dell'acqua di ammollo indicano un rilascio quantitativo simile di specie saline in soluzione sia dalle matrici irradiate che da quelle non trattate.

Sui prodotti lasciati in ammollo (post-swelling) sono state condotte misure mirate alla determinazione della elasticità dei tegumenti esterni pre- e post-cottura (effettuata con la classica procedura in acqua).

Come si può evincere dai dati riportati in tabella 1, la forza di penetrazione e la elasticità (determinate attraverso uno

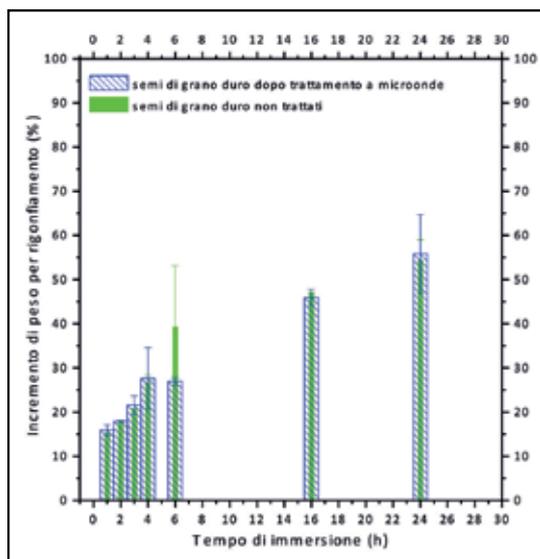


Figura 4. Incremento della conducibilità elettrica dell'acqua di ammollo dei semi di grano duro pre- e post-trattamento a microonde

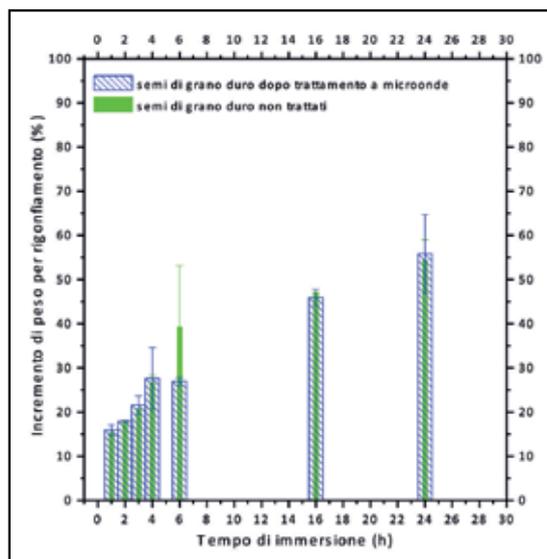


Figura 5. Incremento della conducibilità elettrica dell'acqua di ammollo di legumi (ceci) pre- e post-trattamento a microonde

Tab. 1 - Forza di penetrazione ed elasticità dei tegumenti esterni di semi di grano duro e legumi (ceci) post-swelling (valori ± deviazione standard)

	Grano duro non trattato	Grano duro dopo trattamento a microonde	Legumi non trattati	Legumi dopo trattamento a microonde
Forza max, kg <sub>f</sub>	0.122 ± 0.02	0.194 ± 0.03	0.182 ± 0.06	0.129 ± 0.02
Elasticità tegumento, deformazione %	20.7 ± 6.9	21.3 ± 1.5	6.1 ± 0.22	5.80 ± 0.44

Tab. 2 - Forza di penetrazione ed elasticità dei tegumenti esterni di semi di grano duro e legumi (ceci) post-swelling e dopo cottura (valori ± deviazione standard).

	Grano duro non trattato	Grano duro dopo trattamento a microonde	Legumi non trattati	Legumi dopo trattamento a microonde
Forza max, kg <sub>f</sub>	0.115 ± 0.02	0.120 ± 0.02	0.047 ± 0.01	0.108 ± 0.05
Elasticità tegumento, deformazione %	44.8 ± 4.2	44.3 ± 3.7	6.22 ± 0.24	7.32 ± 1.06

strumento di texture analysis munito con un probe di misura ad ago), sia dei semi di grano che dei legumi trattati a microonde e sottoposti a swelling (per 17 h), mostrano una blanda differenza in termini di incremento di forza necessaria per la penetrazione dei tegumenti e quindi di elasticità meccanica (la deformazione in corrispondenza della forza di penetrazione è indice di elasticità del tegumento, ovvero quanto esso più re-

siste alla rottura più è elastico). Infine, dai dati di tabella 2 è possibile osservare la forza di penetrazione e la elasticità sia dei semi di grano che dei legumi trattati a microonde, sottoposti a swelling (per 17 h) e quindi cotti. Ancora una volta è possibile affermare che i pretrattamenti a microonde non inficiano le caratteristiche di texture post-cottura. Questi ultimi studi sono di grande rilevanza per i diversi processi di

filiera (ad esempio l'inscatolamento) e la valutazione delle masticabilità dei prodotti trasformati.

### CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

La ricerca sviluppata ha permesso di valutare gli effetti dell'esposizione a microonde, da attuare per scopi di disinfestazione, su diverse proprietà termofisiche di grano duro e ceci. Per le matrici modello studiate è possibile concludere che i trattamenti a microonde, opportunamente applicati, non alterano le loro proprietà termofisiche né le capacità germinative. La rapidità di riscaldamento e i ridotti tempi di esposizione sono i fattori chiave che preservano da degradazioni termiche.

L'approccio di ricerca proposto, limitato alle sole osservazioni delle proprietà di trasporto del calore e meccaniche, può essere utilizzato per lo sviluppo del know-how di diversi trattamenti assistiti da microonde nonché della loro ottimizzazione a vantaggio della qualità dei prodotti finali e dei costi di processo.

### BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- 1 Barba, A. A. & d'Amore, M., 2012, Relevance of dielectric properties in microwave assisted processes, Microwave Materials Characterization, InTech Europe, ISBN:9799533078938, 91-118.
- 2 Acierno, D., Barba, A. A. & d'Amore, M., 2004, Heat transfer phenomena during processing materials with microwave energy, Heat and Mass Transfer, 40, 413-420.
- 3 Yadav, D. N., Anand, T., Sharma, M. & Gupta, R., 2012, Microwave technology for disinfestation of cereals and pulses: An overview, Journal of Food Science and Technology, 1-9.
- 4 Mohapatra, D., Kar, A. & Giri, S., 2014, Insect Pest Management in Stored Pulses: an Overview, Food and Bioprocess Technology, 1-27.
- 5 Fields, P. G., 1992, The control of stored-product insects and mites with extreme temperatures, Journal of Stored Products Research, 28, 89-118.