



SHĀ QīNG 杀青

PRINCIPI DI TECNOLOGIA
ALIMENTARE APPLICATI AL
TRATTAMENTO TERMICO DI
INATTIVAZIONE ENZIMATICA
DELLE FOGLIE DI TÈ NELLA
PRODUZIONE DEL PU'ER

KEVIN VITALE

A Blue, la luce della mia vita.

PREMESSA

Questa pubblicazione non si propone di essere la guida scientifica definitiva sullo *shāqīng*, né di rappresentare un riferimento operativo o accademico per gli operatori e gli appassionati del mondo del tè. Nasce invece con l'intento di divulgare le conoscenze che ho maturato in questi anni: i miei studi, le mie esperienze e i miei sforzi scientifici volti a comprendere un settore estremamente complesso, sul quale il mondo occidentale, compreso quello accademico e scientifico, non si è ancora sufficientemente soffermato.

Le pubblicazioni di rilievo che affrontano in modo chiaro e accessibile la lavorazione del tè sono poche; questa opera cerca, almeno in parte, di colmare tale mancanza offrendo una base di partenza per comprendere, in modo semplice, i complessi processi produttivi del tè, in particolare del *Pu'er* e dei tè fermentati.

Più di un anno fa ho iniziato a raccogliere materiale per la stesura di un libro che contenesse un'ampia quantità di informazioni riguardanti l'ingegneria, la microbiologia e la biochimica dei tè fermentati. Data la complessità del progetto e non sapendo se esso avrebbe o meno visto la luce, ho deciso di pubblicare un'anteprima dedicata esclusivamente allo *shāqīng*, un'arte fondamentale e secolare che continua ad affascinare gli appassionati del mondo del tè.

Non esistendo opere di riferimento specifiche, tutte le ipotesi e le informazioni riportate in questo libro sono frutto di studi teorici e osservazioni pratiche, soggette, con la speranza, a costante revisione, affinché possano un giorno diventare un reale punto di riferimento e uno strumento tecnico condiviso.

Ho sempre creduto che l'informazione debba essere quanto più possibile accessibile, affinché la conoscenza diventi un fondamento di crescita, di confronto e di discussione: terreno fertile per dibattiti, e persino per qualche sana diatriba, ma mai strumento di divisione o classificazione. Per questo motivo ho voluto che il libro avesse un costo irrisorio, alla portata

di chiunque e, in base al medesimo principio, ho scelto di pubblicare questo estratto gratuitamente.

Questo è un atto di gratitudine verso le persone che mi sono state accanto, verso chi è scomparso, a coloro che mi hanno aiutato nella realizzazione di questo lavoro e naturalmente verso il tè e le persone che, grazie ad esso, ho avuto la fortuna di incontrare.

INDICE

| | | |
|------|--|----|
| I. | Introduzione | 2 |
| II. | Differenze tra processo manuale e meccanico | 4 |
| III. | Principi di denaturazione enzimatica | 7 |
| IV. | Principi di termodinamica applicata allo shāqīng | 13 |
| V. | Conclusioni | 19 |
| VI. | Bibliografia | 21 |

SHĀQĪNG

(杀青)

I.

Introduzione

Lo *shāqīng*, attraverso movimenti istintivi ma calibrati, impulsivi ma perfettamente controllati, permette al tè di prendere forma, di forgiarne in parte il carattere. È un trattamento termico atto ad inibire l'attività enzimatica, come polifenolo-ossidasi (PPO) e perossidasi (POD) endogene, a provocare la degradazione cellulare e a diminuire ulteriormente il contenuto di acqua nelle foglie.

Tuttavia la temperatura durante questo processo nel Pu'er è sensibilmente inferiore a quella per la produzione dei tè verdi, risparmiando così una parte del patrimonio enzimatico e creando condizioni maggiormente favorevoli al successivo processo di fermentazione. Viene effettuato considerando il bilanciamento tra energia termica, tempo e conducibilità delle foglie attraverso l'utilizzo di calore secco, vapore e onde elettromagnetiche dovute all'irraggiamento.



Nelle grandi produzioni industriali possono essere impiegati dei tamburi rotanti, nonostante tradizionalmente sia coinvolto un wok, in cui l'operatore rigira continuamente, con gestualità e tempi intenzionali, la massa fogliare al suo interno.

La fase di *shāqīng* dura in media 10-30 minuti in un wok a legna, ma il tempo di trattamento varia a seconda della quantità di energia fornita e dalla tipologia di strumentazione in uso, tant'è che in una macchina a tamburo rotante potremmo operare questa fase a 320-350°C facendola durare solamente 4-8 minuti. In questo ultimo caso però dovremmo affrontare una situazione in cui le foglie saranno pressoché intatte al termine

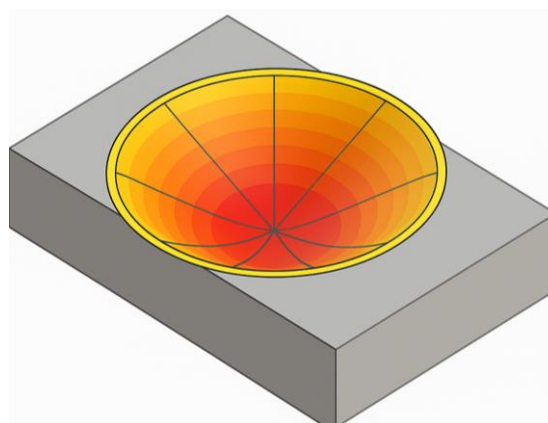
dell'operazione, con una minore degradazione cellulare, alla quale si dovrà rimediare, a titolo esemplificativo, allungando la fase di *rolling*.

II.

Differenze tra processo meccanico e manuale

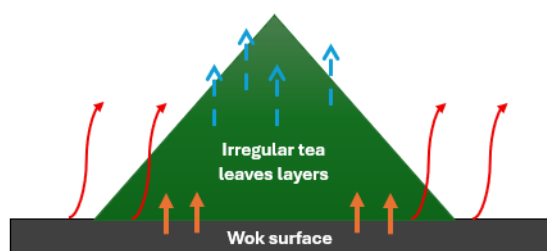
Il wok e il tamburo rotante sono entrambi sistemi termici utilizzati per il trattamento primario delle foglie di tè, ma rappresentano due approcci radicalmente diversi in termini di ingegneria, termodinamica e impatto sulle caratteristiche del prodotto finito.

Il wok rappresenta un dispositivo aperto, che consiste in una padella emisferica a base concava, solitamente in acciaio al carbonio, ferro battuto o acciaio inox, generalmente riscaldato attraverso energia elettrica o con legna in combustione, dove la fiamma viva lambisce la superficie inferiore. L'operatore interagisce continuamente



con il sistema, modulando il contatto foglia-superficie e favorendo l'esposizione alternata delle foglie a zone termiche caratterizzate da gradienti fortemente non uniformi. La forma peculiare non ha solamente un'origine culturale, l'assenza di spigoli infatti permette di minimizzare i gradienti termici localizzati. Al centro del wok si possono raggiungere 200–

300°C, mentre i bordi operano spesso a 100–160°C, generando cicli rapidi di riscaldamento e raffreddamento. Il raggio di curvatura permette così



di regolare il calore apportato in relazione alle esigenze durante la lavorazione.

Il tamburo rotante, al contrario, è un dispositivo chiuso o aperto che opera in condizioni molto più uniformi, riscaldato utilizzando gas combustibile o energia elettrica. La geometria cilindrica e la rotazione costante generano un

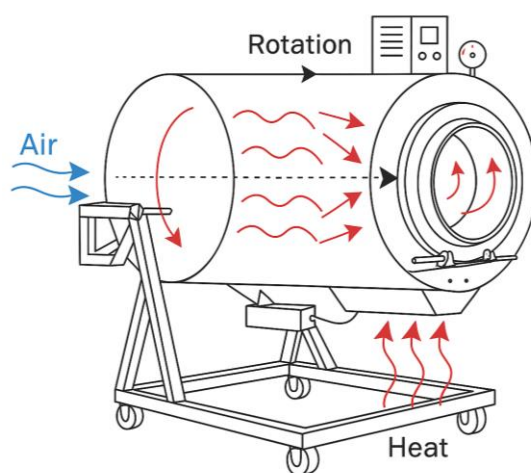
ambiente in cui il trasferimento di calore dipende principalmente da conduzione ripetuta e convezione forzata dell'aria interna.



Le temperature operative, che possono essere potenzialmente più elevate rispetto al wok, presentano variazioni minime lungo la superficie interna, riducendo drasticamente i gradienti termici osservati nel metodo precedente. La dinamica di riscaldamento delle foglie può essere regolata impostando profili termici programmati, basati su rampe di temperatura definite a priori e comunque modificabili

istantaneamente, oppure mantenendo il sistema in regime isotermico. In entrambi i casi, il trasferimento di calore risulta più regolare rispetto ai processi manuali: i contatti tra foglie e superficie calda avvengono in modo ciclico e ripetibile, i flussi convettivi interni rimangono stabili e l'umidità residua è progressivamente ridotta secondo un andamento più controllato e uniforme.

La differenza tra un trattamento termico manuale effettuato in un wok e uno condotto da una macchina automatica non risiede solamente nelle modalità di fornitura del calore, sui tempi o nelle differenze strutturali, ma anche nella composizione del microbiota e nel microbioma che affronteranno la fermentazione e nel complesso di sostanze che contribuiscono a caratterizzare il profilo aromatico.



In entrambe le modalità, le classi principali dei composti volatili risultano essere alcoli, esteri, aldeidi, alcani, derivati benzenici, chetoni, alcheni e fenoli. Tuttavia, il tè lavorato manualmente sembra mostrare un'intensità superiore di note floreali e fruttate dovute ad una possibile maggior

abbondanza di linalolo, esteri dolci e fruttati, chetoni, sostanze dai profili agrumati e legnosi come il limonene, il cedrene ed il cedrolo e aldeidi dai sentori speziati e resinosi. L'eterogeneità termica del wok favoriscono il raggiungimento di risultati maggiormente peculiari e la minore uniformità nella disattivazione enzimatica può contribuire alla formazione di pigmenti e di composti caratterizzanti il profilo sensoriale finale.

Le foglie trattate meccanicamente possono invece mostrare una personalità organolettica più uniforme e un po' più neutra, con abbondanza di sostanze dalle note mandorlate, erbacee e vegetali ed un minor sviluppo di esteri e alcoli floreali e fruttati. Nel Pu'er, diversamente da altre tipologie di tè, la stabilità termica e l'omogeneità di processo contribuiscono maggiormente alla formazione di un profilo aromatico più lineare. I fenomeni di Maillard, più omogenei e distribuiti, producono aromi generalmente tostati, più costanti, ma meno complessi.

Anche il profilo microbiologico riflette le differenze ingegneristiche. I phyla batterici sembrano anch'essi simili in termini di quantità assoluta, mostrando tuttavia una differente abbondanza relativa. Nel Pu'er lavorato manualmente sembra esistere una maggior presenza di Proteobacteria rispetto al materiale ottenuto con macchine automatiche, in cui emerge una maggior presenza di Firmicutes in termini relativi.

I phylum fungini sono pressoché uguali nei due metodi, ma differenze rispetto al genere tendono ad essere osservabili, denotando una maggior presenza di *Cladosporium* e *Aspergillus* nel tè lavorato manualmente. Tuttavia queste ultime affermazioni troveranno certamente conferme o smentite nei prossimi studi scientifici.

III.

Principi di denaturazione enzimatica

Il trasferimento energetico avviene mediante conduzione, convezione ed irraggiamento, e la temperatura del wok o del tamburo rotante può essere costante o meno durante il processo.

Prima di approfondire i principi termodinamici che governano questo processo, è opportuno introdurre il concetto di reazione del primo ordine. Una reazione segue una cinetica del primo ordine quando la velocità con cui avviene dipende direttamente dalla concentrazione di un solo reagente: in questo caso, la quantità di enzima ancora presente e attivo. Più enzima



rimane, più velocemente avviene l'inattivazione. Il decadimento è scritto da una legge spietata e perfettamente logica: più enzimi vivi ci sono, più velocemente dipartono. Ogni minuto che passa, la popolazione enzimatica soccombe, in un ballo epicureo e vertiginoso che sa di entropia e destino, una corsa alimentata da un fuoco che consuma chi lo insegue. È la perfetta parabola del troppo vivere: ogni respiro ti propone alla fine, in questo caso secondo questa formula in forma differenziale:

$$\frac{d[E]}{dt} = -k [E]$$

dove:

- $[E]$: quantità di enzima attivo in un dato istante;
- k : costante di inattivazione (dipende dalla temperatura e dalle condizioni di processo);
- t : tempo.

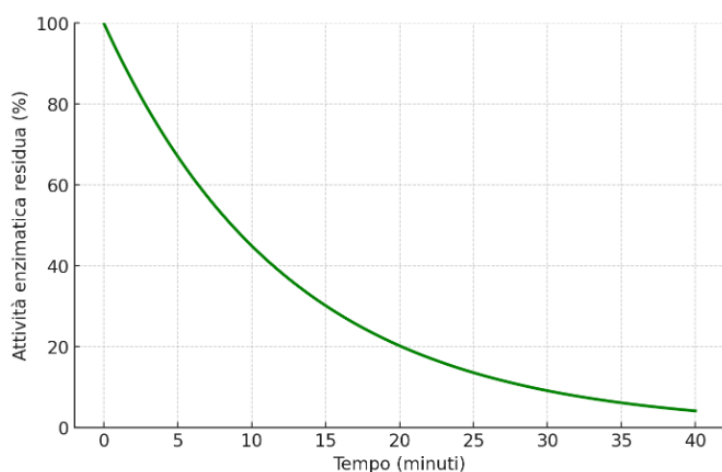
Possiamo quindi assumere che, nelle fasi iniziali del trattamento termico, quando l'attività enzimatica è ancora elevata, anche il processo di inattivazione risulta particolarmente rapido. Con il passare del tempo ed il proseguire del trattamento termico avviene una crescente denaturazione degli enzimi, la resultante è un rallentamento del processo. Se vogliamo sapere quanta attività enzimatica rimane dopo un certo tempo di trattamento, possiamo però integrare la formula precedente, esponendo quella che più ci può interessare a livello tecnico, ovvero:

$$[E](t) = [E_0] e^{-k t}$$

Dove:

- $[E]$: attività enzimatica ancora presente dopo il tempo t .
- $[E_0]$: quantità iniziale di enzima attivo (esprimibile come valore %).
- e : numero di Nepero.
- k : costante di inattivazione (più è alta la temperatura, più è grande questa costante).
- t : tempo di trattamento (in secondi o minuti).

Considerando che k dipende dalla temperatura e dalle caratteristiche dell'enzima, quando k è elevato (ad esempio in condizioni di temperatura



alta o di trattamento particolarmente aggressivo), il termine esponenziale e^{-kt} diminuisce rapidamente. Di conseguenza, l'attività enzimatica cala velocemente fino a raggiungere valori prossimi allo zero. Un analogo effetto si osserva aumentando il tempo t : prolungando il

trattamento si ottiene una progressiva inattivazione enzimatica, con E che tende a zero.

A sinistra è riportato un grafico rappresentativo del possibile decadimento esponenziale. All'inizio ($t = 0$) l'attività enzimatica è prossima al 100% e

man mano che il tempo scorre, applicando il riscaldamento, la curva scende esponenzialmente. Appare chiaro pertanto, che protraendo lo *shāqīng* il tempo aumenterà e conseguentemente avremo un'attività enzimatica residua tanto più bassa quanto è alto il valore di t . Osservando il grafico deduciamo anche come la parte critica siano i primi 5-10 minuti: qui il wok deve essere gestito con particolare attenzione, perché è in questa frazione temporale che viene coinvolta la maggior parte della trasformazione enzimatica ed è anche il momento in cui il wok è maggiormente caldo, problema arginabile se si utilizzano altri strumenti come i tamburi rotanti, in cui possiamo avere programmi isotermici o pianificare e regolare meglio le rampe di temperatura adeguate.

Nel campo dell'ingegneria alimentare, la stessa relazione viene spesso espressa in forma logaritmica decimale, come riportato nei **modelli termici classici di Bigelow**:

$$\log_{10} \left(\frac{[E]}{[E_0]} \right) = - \frac{t}{D_T}$$

dove D_T rappresenta il tempo di riduzione decimale alla temperatura T , cioè il tempo necessario affinché l'attività enzimatica residua si riduca di un ordine di grandezza (90% di inattivazione). Le due espressioni sono matematicamente equivalenti e correlate attraverso la relazione:

$$k = \frac{\ln 10}{D_T} \Leftrightarrow D_T = \frac{\ln 10}{k}$$

Inoltre, la dipendenza della costante di inattivazione dalla temperatura può essere descritta secondo il modello di Bigelow mediante il valore z , che rappresenta l'incremento termico necessario per modificare D_T di un fattore dieci, oppure secondo l'equazione di Arrhenius, che collega k all'energia di attivazione E_a del processo termico. Entrambe le formulazioni consentono di prevedere l'efficacia del trattamento termico nel determinare la completa inattivazione enzimatica, in funzione del tempo e della temperatura di processo.

Se volessimo pertanto provare a calcolare k , un'equazione utile nel contesto dello *Shāqīng* è, come detto, quella di Arrhenius, che permette di calcolare la **costante di denaturazione enzimatica**:

$$k = A e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

in cui:

- k : costante della velocità di denaturazione enzimatica;
- A : fattore pre-esponenziale (frequenza delle collisioni efficaci (min^{-1})), talvolta indicato anche come k_0 ;
- E_a : energia di attivazione (J/mol);
- R : costante dei gas ideali (8.314 J/mol K);
- T : temperatura assoluta (K).

1. A è una costante tipica per l'enzima (es. PPO)

2. Energia di Attivazione (E_a)

- Specifico per l'enzima. L'energia di attivazione quantifica la "barriera energetica" minima necessaria a far sì che la reazione, di denaturazione in questo caso, inizi e quindi quella indispensabile a denaturare l'enzima. Più alta è E_a , più resistente è l'enzima al calore.

3. Dipendenza dalla Temperatura (T)

- All'aumentare di T , il termine $-E_a/RT$ diventa meno negativo \rightarrow l'esponenziale $e^{-E_a/RT}$ aumenta $\rightarrow k$ cresce esponenzialmente.

Concludendo, se la temperatura aumentasse, la costante di inattivazione enzimatica k incrementerebbe in modo esponenziale, in funzione dell'energia di attivazione degli enzimi coinvolti. Ciò accelererebbe drasticamente la denaturazione enzimatica. Se la temperatura fosse invece troppo bassa (es. $<150^\circ\text{C}$), l'inattivazione sarebbe troppo lenta e l'attività enzimatica residua favorirebbe processi ossidativi indesiderati.

Grazie a queste formule è ora possibile costruire una "curva di inattivazione" basandosi sulle aspettative qualitative, su esigenze operative e sullo stile ricercato. Come detto sopra, sarà possibile ottenere un tè più ossidato protraendo nel tempo l'asciugatura iniziale e/o utilizzando una temperatura inferiore per un periodo di cottura più esteso. Otterremo così un Pu'er "arrossato" dal profilo morbido, fruttato, dolce e precocemente piacevole, ma con una possibile poca attitudine all'invecchiamento e basse possibilità che esso abbia uno sviluppo aromatico notevole con il passare degli anni. Al contrario, una temperatura alta ed un tempo più breve che caratterizzano uno *shāqīng* più aggressivo, risulteranno in una tazza più floreale, talvolta più

vegetale, con una dolcezza minore e con un'astringenza ed un'amarezza tendenzialmente più evidenti. Se eccessivamente elevata però, avremo un risultato più simile ad un tè verde, con note tostate, un carattere eccessivamente vegetale o erbaceo, con poca prospettiva di maturazione, in quanto l'appiattimento aromatico sopraggiungerà già dopo un anno, trovandoci in futuro con un prodotto che ricorderà più un tè verde vecchio che un Pu'er affinato.

Una strategia messa invece in atto dai produttori che hanno a che fare con foglie più astringenti o soventemente più amare, come accade in molte aree di Bulang, è quella di posticipare la fine dello *shāqīng*, magari operando con temperature leggermente più basse per permettere ad astringenza ed amarezza di stemperarsi. Ciò accade per motivi diversi: è ipotizzabile che a temperature eccessivamente alte ($>250^{\circ}\text{C}$) i tessuti esterni della foglia subiscano una rottura violenta e la denaturazione delle proteine di membrana sia brusca, generando una sorta di "esplosione cellulare", con

fuoriuscita improvvisa e concentrata di polifenoli, alcaloidi e altri composti amari che non hanno il tempo di reagire con altre sostanze (formando, a titolo esemplificativo, complessi colloidali di minor amarezza). In aggiunta, le foglie rimangono



parzialmente crude e il patrimonio enzimatico non è sufficientemente ridotto, con accumulo di composti astringenti nel tempo. Al contrario, a temperatura più moderata, il calore penetra gradualmente permettendo una denaturazione più lenta e una trasformazione parziale dei polifenoli in derivati meno astringenti: ad esempio, alcune catechine iniziano a ossidarsi o a polimerizzarsi e, ancora, possono epimerizzare. Attraverso l'epimerizzazione, con temperature superiori ai $170\text{-}180^{\circ}\text{C}$, le catechine subiscono un riarrangiamento strutturale in forme meno astringenti, come la conversione di EGCG (epigallocatechina gallato) in GCG (gallo catechina gallato) e di ECG (epicatechina gallato) in CG (catechina gallato).

Le epicatechine gallate (EGCG, ECG) sono le principali responsabili dell'astringenza ed il loro contributo all'amarezza finale del tè è

estremamente rilevante; la loro alterazione porta a una sensazione meno aggressiva in bocca e ad un minor effetto amaricante, grazie anche ad una loro polimerizzazione in composti meno solubili. Anche il huigan comincerà a svilupparsi, in quanto associato in buona misura a composti polifenolici trasformati, in particolare gallati epimerizzati e flavonoidi alterati dal calore. La parziale condensazione dei polifenoli porta alla formazione di complessi colloidali meno sgradevoli, prolungando la sensazione dolce, a cui contribuiscono anche composti generati dalle reazioni a carico degli zuccheri.

Con una gestione più mite di temperatura e tempo, anche in termini olfattivi avremo un miglioramento, con una maggior volatilizzazione di composti aromatici responsabili delle note erbacee e vegetali (es. cis-3-hexenol e simili), così come otterremo un sensibile perfezionamento gustativo, attraverso la formazione di note tostate e di nocciola, ed una sensazione più rotonda al palato, grazie anche in parte a fenomeni non enzimatici come la reazione di Maillard. Temperature eccessive tuttavia, possono creare il rischio di una combustione parziale, generando composti di neoformazione dalle note sgradevoli di bruciato.

IV.

Principi di termodinamica applicata allo *shāqīng*

Le formule sono sempre ostiche, quasi nessuno le ama, ammettiamolo. Un'equazione fa quello che fanno sempre le equazioni: dovrebbero semplificare, ma per molti, complicano la storia, come certi critici d'arte fanno davanti a un'opera di Rothko. Tuttavia, sono certo questa volta sarà diverso, poiché queste equazioni ci aiuteranno a comprendere come funziona davvero lo *shāqīng* da un punto di vista termodinamico; qui la fisica recita la sua parte, ma vedrete che impararla non sarà difficile.

Partiamo dal semplice bilancio di energia, e per introdurlo cominciamo dal primo principio della termodinamica, secondo cui l'energia non può essere né creata né distrutta, ma solo trasformata da una forma all'altra. Pertanto, una porzione dell'energia generata, in questo caso termica, verrà trasferita alle foglie per essere riscaldate, mentre una parte verrà dispersa. La formula di base per stimare l'**energia richiesta** per riscaldare le foglie di tè e l'aria/vapore nel tamburo è la seguente:

$$Q = m c_p \Delta T$$

in cui:

- Q : calore fornito (kJ);
- m : massa di foglie (kg);
- c_p : calore specifico medio del materiale (kJ/kg K);
- ΔT : variazione di temperatura (K o °C);

Quando però una sostanza (in questo caso le foglie) viene sottoposta a riscaldamento, parte del calore serve necessariamente ad aumentare la temperatura del materiale solido residuo, mentre una parte viene usata per evaporare l'acqua contenuta.

Per questo, se conoscessimo la quantità di solidi nelle foglie e volessimo essere più precisi, l'**energia totale richiesta** (Q_{tot}) è la somma di due contributi:

$$Q_{tot} = m_f c_{p,f} (T_f - T_i) + m_v L_v$$

- m_f : quantità di solidi nelle foglie;
- m_v : massa d'acqua evaporabile contenuta nelle foglie;
- L_v : calore latente di evaporazione (≈ 2400 kJ/kg a 25°C), espresso soventemente anche come λ_v .

Ora, sapendo qual è la richiesta termica delle nostre foglie, ci possiamo ricondurre a quanto detto ad inizio paragrafo, ovvero alle modalità con cui esse ricevono tale energia. Il trasferimento energetico avviene mediante conduzione (diretto, dal metallo riscaldato alle foglie), convezione (indiretto, dal movimento di aria calda attorno alla superficie concava e dall'acqua di evaporazione delle foglie) ed irraggiamento (indiretto, mediante emissione di onde infrarosse, dalla superficie metallica sottoposta a riscaldamento).

La conduzione è il meccanismo di trasferimento di calore tra corpi a contatto diretto, dovuto al movimento microscopico di atomi, molecole o elettroni liberi, senza trasporto macroscopico di materia.

Il calore si propaga dal punto a temperatura più alta verso quello a temperatura più bassa, fino a raggiungere l'equilibrio termico. Il fenomeno è descritto dalla legge di Fourier per la **conduzione** del calore :

$$q = -k A \frac{dT}{dx}$$

dove:

- q : flusso termico (W/m^2);
- k : conducibilità termica del materiale (W/m K);
- A : area di scambio (m^2);
- dT/dx : gradiente di temperatura (variazione di T nello spazio).

Ciò serve per calcolare quanto calore passa attraverso la parete a un certo istante, se le temperature ai due lati sono note. Quindi è utile per calcolare quanto calore è necessario per riscaldare sia il wok, sia le foglie.

Nel caso in cui però non volessimo calcolare quanta energia complessiva è trasferita, ma volessimo calcolare come cambia la temperatura punto per

punto nella parete dell'elemento riscaldante o nelle foglie nel tempo, cioè il transitorio termico durante il riscaldamento, dovremmo usare un'altra equazione, scritta esplicitamente nei tre assi spaziali x, y, z :

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

- ρ : densità del materiale (kg/m^3);
- C : calore specifico a pressione costante (J/kg K);
- $T(x,y,z,t)$: temperatura locale, funzione dello spazio e del tempo;
- k : conducibilità termica (W/m K);
- $\partial T/\partial t$: rappresenta la variazione della temperatura nel tempo;
- i termini $\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right)$, $\frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right)$, $\frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right)$ rappresentano la variazione spaziale del flusso conduttivo nei tre assi.

Inoltre, quando due superfici non perfettamente lisce, come una foglia e il metallo di un wok, vengono a contatto, il calore non si trasmette in modo uniforme, ma attraverso una rete di micro-punti di contatto alternati a strati d'aria che si interpongono fra le asperità delle superfici. Il trasferimento termico complessivo si comporta quindi come una resistenza termica equivalente in serie, che si oppone dunque allo scambio termico e che può essere espressa come:

$$R_{\text{cond,eff}} = \frac{\delta_c}{k_{\text{leaf}} A_{\text{eff}}}$$

dove:

- δ_c : spessore medio del micro-strato di contatto (gap termico, m);
- k_{leaf} : conducibilità termica della foglia umida ($\approx 0,3-0,6 \text{ W/m K}$);
- $A_{\text{eff}} = A f_c$: rappresenta l'area effettivamente a contatto, dove A è la superficie di contatto e f_c è la frazione di contatto compresa tra 0 e 1.

Invertendo la resistenza per ottenere il coefficiente di scambio termico si ottiene:

$$h_{\text{cond}} = \frac{1}{R_{\text{cond,eff}} A} = \frac{k_{\text{leaf}}}{\delta_c} f_c$$

Questa formulazione è particolarmente utile nel caso dello *shāqīng*, poiché nel wok le foglie toccano il metallo solo a tratti, la pressione di contatto varia continuamente e l'umidità superficiale cambia durante il riscaldamento. In tali condizioni, la conduzione domina sullo scambio convettivo e la relazione

$$h_{\text{cond}} = \left(\frac{k_{\text{leaf}}}{\delta_c} \right) f_c$$

rappresenta il modo più pratico per incorporare la situazione reale del contatto parziale nei bilanci energetici di processo. Pur non essendo una correlazione universale, essa descrive dunque, in modo approssimativo ma sufficientemente efficace, il comportamento osservato sperimentalmente nei materiali vegetali umidi a contatto con superfici metalliche calde.

Il coefficiente di scambio termico per conduzione di contatto, h_{cond} , rappresenta un parametro fondamentale nel bilancio energetico dello *shāqīng*, poiché consente di quantificare il flusso di calore trasferito dalle pareti calde del wok alle foglie. In condizioni operative, il trasferimento complessivo può essere descritto dalla **legge di Newton del raffreddamento, adattata al riscaldamento per contatto**:

$$q = h_{\text{cond}} A (T_s - T_{\text{leaf}})$$

dove:

- q : flusso di calore (W);
- A : area geometrica di contatto (m^2);
- T_s : temperatura superficiale del mezzo riscaldante;
- T_{leaf} : temperatura media della foglia.

In altre situazioni avremmo potuto stimare h mediante il numero di Nusselt $Nu = \frac{h d_c}{k} = C Re^m Pr^n$ conoscendo le costanti geometriche, il numero di Reynolds e quello di Prandtl, ma poiché durante lo *shāqīng* il moto delle foglie è continuo, il contatto è intermittente e dinamico: il valore di h_{cond} deve quindi essere inteso come un coefficiente medio efficace, che ingloba le variazioni di pressione, umidità e deformazione delle foglie durante il processo.

Oltre al trasferimento di calore mediante conduzione e convezione, una parte significativa del calore trasferito alle foglie durante lo *shāqīng*, spesso poco citata o trascurata, avviene per irraggiamento termico, specialmente quando la temperatura del wok supera i 150–200 °C. In queste condizioni, le superfici metalliche calde emettono energia sotto forma di radiazione infrarossa, che viene assorbita dalle foglie, contribuendo al riscaldamento superficiale e alla parziale evaporazione dell'acqua.

Il **flusso radiativo netto** tra due superfici a temperature differenti può essere espresso attraverso l'equazione:

$$q_{\text{rad}} = \sigma \varepsilon A (T_s^4 - T_{\text{leaf}}^4)$$

- $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$: è la costante di Stefan-Boltzmann;
- ε : emissività. In questo caso si può esprimere come $\varepsilon_{\text{eff}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_s} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{leaf}}} - 1}$

Poiché il wok è molto più grande rispetto alle singole foglie e può essere trattato come un ambiente termico dominante, è comune semplificare il modello e usare direttamente un'emissività efficace nel calcolo (ε_{eff}) compresa tra 0,80 e 0,85;

- A : area esposta allo scambio radiativo (m^2);
- T_s e T_{leaf} : sono rispettivamente le temperature (K) della superficie del wok e della foglia.

Come è facile notare, a temperature elevate, il termine T^4 rende l'irraggiamento altamente sensibile alle variazioni termiche: un piccolo incremento della temperatura del wok comporta un aumento esponenziale del flusso radiativo

Infine, durante lo *shāqīng*, oltre al trasferimento di calore, avviene necessariamente un intenso trasferimento di massa dovuto all'evaporazione dell'acqua contenuta nelle foglie. Tale fenomeno è di fondamentale importanza, poiché la rimozione dell'umidità non solo consente di arrestare l'attività enzimatica, ma modifica anche la struttura cellulare e la plasticità delle foglie, influenzando la successiva fase di arrotolamento e fermentazione.

Pertanto, quanta acqua viene ceduta dalle foglie di tè durante questo processo? La **perdita d'acqua** può essere descritta mediante un bilancio di massa semplificato:

$$\frac{dm_w}{dt} = -k_m A (P_{v,s} - P_{v,\infty})$$

- m_w : massa d'acqua residua (kg),
- k_m : coefficiente di trasferimento di massa (m/s),
- A : superficie di evaporazione (m²),
- $P_{v,s}$ e $P_{v,\infty}$: sono rispettivamente la pressione di vapore saturo all'interfaccia fogliare e quella parziale del vapore nell'ambiente circostante.

La velocità di evaporazione può essere anche espressa in funzione del **flusso di calore disponibile per la vaporizzazione**:

$$\dot{m}_w = \frac{q_{\text{evap}}}{L_v} = \frac{h_{\text{eff}} A (T_s - T_{\text{leaf}})}{L_v}$$

dove L_v è il calore latente di evaporazione dell'acqua ad una certa temperatura (per esempio a 200°C \approx 1940.75 kJ/kg).

Questo approccio collega direttamente la perdita d'acqua al bilancio termico complessivo del processo, consentendo di stimare in modo realistico la riduzione di massa osservata durante il trattamento.

La comprensione quantitativa di questi fenomeni permette di integrare il bilancio di calore con il bilancio di massa, fornendo una base ingegneristica per la progettazione di processi controllati di *shāqīng*, in grado di garantire una disidratazione omogenea e una qualità quanto più costante possibile del Pu'er.

V.

Conclusioni

In questo breve estratto abbiamo affrontato alcune delle tematiche più tecniche e complesse che coinvolgono il processo di deattivazione enzimatica, di certo importanti e fondamentali per raggiungere il massimo risultato qualitativo.

Ma, accanto alla necessità del metodo e alla precisione dell'ingegneria, è altrettanto essenziale ricordare che lo shāqīng di un grande Pu'er e, più in generale, la lavorazione di un grande tè, non è mai un'esecuzione puramente strumentale. L'efficienza è una qualità importante, ma non può esaurire il significato dell'opera, né sostituire la relazione più profonda che lega l'uomo alla materia che trasforma.

Il cambiamento delle foglie non è una mera successione biochimica: è un'acquisizione di significato. Byung-Chul Han si è spesso soffermato sul raggiungimento ossessivo della levigatezza, quell'exasperata rincorsa verso cui tutto è privo di attrito, di asperità e senza resistenze che obblighino a soffermarsi, a porsi domande, a restare.

Gli strumenti, come un wok o un tamburo rotante, possono servire ad accentuare le profondità, a sfuggire alla mera logica pre-calcolante che porta all'appiattimento. È necessario cercare di ottenere un prodotto che sia un luogo di incontro tra il genio umano ed il contesto naturale delle foglie, un rifugio in cui la materia e il gesto cooperano per dare forma a qualcosa che supera entrambi.

Non credo che una lavorazione automatizzata privi necessariamente il tè di quella dimensione di significati intrinseci, neppure che impedisca alle caratteristiche delle foglie di emergere. Se recidere o meno quella continuità culturale dipende soprattutto dalla volontà umana, quando viene posta di fronte alla scelta di abdicare alla responsabilità interpretativa per ridurre la tradizione ad un semplice contesto produttivo.

È necessario, sia mediante un approccio operativo tradizionale sia industriale, contribuire alla continuità di una conoscenza tramandata attraverso le generazioni, nutrendo instancabilmente quel sentimento di cura, di responsabilità verso qualcosa che evolve e che nello stesso evolvere si concede come simbolo di un territorio, diventa testimone di interi popoli e narratore di storie eterne.

VI.

Bibliografia

Chen, Hongyu & Zhang, Xingmin & Jiang, Ronggang & Ouyang, Jian & Liu, Qi & Li, J-L & Wen, Haitao & Li, Qin & Chen, Jinhua & Xiong, Ligui & Huang, Jianan & Liu, Zhonghua. (2023). Characterization of aroma differences on three drying treatments in Rucheng Baimao (*Camellia pubescens*) white tea. *LWT*. 179. 114659. 10.1016/j.lwt.2023.114659.

Cocolin, Luca, Gobbetti, Marco, Neviani, Erasmo. (2022). *Microbiologia alimentare applicata*. CEA – Casa Editrice Ambrosiana.

Friso, Dario. (2017). *Ingegneria dell'Industria Agroalimentare (Food Engineering Unit Operations)*, Vol. 1.

Friso, Dario. (2017). *Ingegneria dell'Industria Agroalimentare (Food Engineering Unit Operations)*, Vol. 2.

Ho, Chi-Tang & Zheng, Xin & Li, Shiming. (2015). Tea aroma formation. *Food Science and Human Wellness*. 4. 10.1016/j.fshw.2015.04.001.

Li, Maoyun & Xiao, Yue & Zhong, Kai & Wu, Yanping & Gao, Hong. (2022). Delving into the Biotransformation Characteristics and Mechanism of Steamed Green Tea Fermented by *Aspergillus niger* PW-2 Based on Metabolomic and Proteomic Approaches. *Foods*. 11. 865. 10.3390/foods11060865.

Long, Chunlin & Robbat, Jr, A.. (2018). Striking changes in tea metabolites due to elevational effects. *Food Chemistry*. 264. 10.1016/j.foodchem.2018.05.040.

Piao, Meizi & Zhang, Yue & Chen, Tiejun. (2022). Effects of different de-enzyming methods on microbial composition and volatile compounds of raw Pu' er tea based on microbiome and metabolomics. *Food Bioscience*. 48. 101817. 10.1016/j.fbio.2022.101817.

Singh, R. & Heldman, D.R.. (2014). Introduction to food engineering: Fifth edition. 1-861.

Wang, B. (2020). Effects of manufacturing on the volatile composition of raw Pu-erh tea with a focus on de-enzyming and autoclaving–compressing treatments. LWT. 137. 10.1016/j.lwt.2020.110461.

Wang, Sunan & Qiu, Yi & Gan, Ren-You & Zhu, Fan. (2021). Chemical constituents and biological properties of Pu-erh tea. Food Research International. 154. 110899. 10.1016/j.foodres.2021.110899.

Yu, Shuenn-Der. (2016). The Authentic Taste of Puer Tea and Transnational Interests. Taiwan Journal of Anthropology. 14. 89-110.

Zhang, Jinghong. (2011). A hard journey to authenticity : narratives of Puer tea from Yunnan in Southwest China.

Zhang, Jinghong. (2013). Puer tea: Ancient caravans and urban chic.

Kevin Vitale

wildharvested.org

Pubblicato nel novembre 2025.

Il presente file e tutti i suoi contenuti, inclusi ma non limitati a testi, immagini, illustrazioni, grafici, schemi, tabelle e impaginazione, sono protetti dalle leggi nazionali e internazionali sul diritto d'autore. Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questa opera può essere riprodotta, archiviata in un sistema di recupero dati, trasmessa in alcuna forma o con alcun mezzo, senza previa autorizzazione scritta dell'autore e titolare dei diritti.

