

## MIKROHULLÁMÚ TERMÍKUS KEZELÉS HATÁSA A SZÓJABAB MINŐSÉGÉRE

SZABÓ GÁBOR<sup>1</sup> RAJKÓ RÓBERT<sup>1</sup>  
KOVÁCS ERZSÉBET<sup>2</sup> PAPP GÉZÁNÉ<sup>1</sup> HOTYA LÍVIUSZNÉ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Élelmiszeripari Műveletek és Berendezések Tanszék

<sup>2</sup>Élelmiszerkémia és Analitikai Tanszék

### ÖSSZEFOGLALÓ

*Étkezésre és takarmányozásra egyaránt világszerte legelterjedtebb fehérjehordozók a különböző hüvelyes magvak. Ezekben az anyagokban a fehérjetartalom biológiai szempontból igen kedvező aminosav-összetétellel párosul. Tény azonban, hogy a kedvező fehérje-tartalom és összetétel jelentős mennyiségű káros antinutritív anyag jelenlétével jár együtt. A biológiai hasznosulás növelésére alkalmazott különböző hőkezelési eljárások egyben az antinutritív anyagok szintjének csökkentésére is irányulnak.*

*A közleményben a szerzők beszámolnak arról, hogy a mikrohullámú termikus kezelés ebben az esetben sokkal hatásosabb a hagyományos termikus eljárásokhoz képest. A kísérleteket vákuumozható készülékben hajtották végre és vizsgálták az enzimaktivitás csökkenésének mértékét különböző eljárás paraméterek mellett.*

*Az alkalmazott kísérlettervezési módszerrel jelentősen tudták csökkenteni a kísérletek számát arra vonatkozóan, hogy megtalálják a kezeléshez szükséges optimális feltételeket. Az eredmények kiértékelésére alkalmazott új statisztikai eljárás leírását is közlik.*

## 1. A MIKROHULLÁMÚ HŐKEZELÉS FIZIKAI ALAPJAI

Az élelmiszerek mikrohullámú melegítése végeredményben a mikrohullámú üregrezonátorban kialakuló elektromágneses tér impedanciájához illesztett generátor által lesugárzott energia disszipációjának az eredménye az anyag (dielektrikum) belsejében. Ez magában a termékben azonnali hőmérsékletemelkedést okoz, szemben a hagyományos melegítési műveletekkel, ahol a felülettől a magbelsőbe történő energiátanszport nagy termikus időállandóval rendelkezik, a hőpenetráció lassú.

Az élelmiszerek mikrohullámú melegítése nemcsak azok dielektromos tulajdonságaival hozható összefüggésbe, hanem az elektromos vezetőképességgel is, amely jellemző a dielektromos melegítésre, valamint a termikus és transzport tulajdonságokra, amelyek befolyásolják a hő, és az anyagátvitelt mind a hagyományos, mind pedig a mikrohullámú melegítés műveleteiben.

Az élelmiszerek nagytöbbsége dielektrikumnak tekinthető. A dielektrikumokban a mikrohullámú tartományú (896, 915, 2450 MHz) elektromágneses erőterben az anyag molekulái polarizálódnak. Mivel a töltések az anyag belsejében nem mozognak szabadon, a molekuláris súrlódás csillapítási jelenséget okoz. Az elektromos tér felépítésekor betáplált energia egy része a tér megszűnésekor nem térül vissza, a különbség - a dielektromos veszteség - hővé alakul.

A hőfejlődés mértéke nagyban függ a kezelt anyag nedvességtartalmától és a vízkötés energiaszintjétől. Az elektromágneses térben ugyanis a dipólusmomentummal rendelkező molekulák megpróbálnak igazodni a váltakozó áramú mezőhöz, miközben egymással ütköznek, súrlódnak és így a mikrohullámú energia végül is hővé alakul. Hasonló jelenséget tapasztalhatunk különböző töltésű ionoknak a váltakozó áramú elektromos pólusok felé történő áramlása során is.

A térfogategységben fejlődő (volumetrikus) hőáram és az instacioner hőmérséklet emelkedés meghatározására az alábbi empirikus összefüggéseket alkalmazhatjuk (Goldblith, 1967):

$$\begin{aligned} \phi_V &= C \cdot f \cdot E_{eff}^2 \cdot (\kappa' \cdot \operatorname{tg} \delta) \quad (kW/m^3) \\ \frac{dt}{d\tau} &= 14,32 \cdot \frac{\phi_V}{\rho \cdot c_p} \end{aligned} \quad (1)$$

A volumetrikus hőáram tehát az erőter frekvenciájával ( $f$ ), az elektromos térerősség négyzetével ( $E_{eff}^2$ ), az anyag relatív dielektromos állandójával ( $\kappa'$ ) és a veszteségi szög tangensével ( $\operatorname{tg} \delta$ ) arányos.

Számtalan probléma nehezíti ugyanakkor a fenti összefüggések alkalmazását. Ezek közül a legfontosabb, hogy a dielektromos tulajdonságok az anyag nedvességtartalmának függvényei és így azok a kezelés során változnak. Ezért van nagy jelentősége a kísérleteknek, a kielégítő matematikai-fizikai modellalkotásnak (Szabó, 1994, Rajkó, 1994b).

## 2. A HÜVELYES MAGVAK TÁPLÁLKOZÁSTANI ÉRTÉKE

Ismeretes, hogy étkezésre és takarmányozásra egyaránt világszerte legelterjedtebb fehérjehordozók a különböző hüvelyes magvak, melyek 20-40%-os fehérje-tartalmuk folytán igen magas tápértéket képviselnek. Nem elhanyagolható az a tény sem, hogy a magas fehérjetartalom biológiai szempontból igen kedvező aminosav-összetétellel párosul. Tény azonban az is, hogy a kedvező fehérje-tartalom, illetve összetétel jelentős mennyiségű káros antinutritív anyag jelenlétével jár együtt.

Ismeretes, hogy a biológiai hasznosulás mértéke még optimális körülmények között is 50%-nál kisebb mértékű. Az emészthetőség fokozódásával ugyanakkor javul a táplálék, illetve a takarmányfehérjék hasznosulása is. Ennek növelésére számos módszer ismert, melyek döntő többsége - különös tekintettel a különböző hőkezelési eljárásokra - azon a felismerésen alapul, hogy a denaturáció növeli az egyébként nem, vagy igen rosszul emészthető fehérje szervezeten belüli lebontását.

Az emészthetőség, illetve a biológiai hasznosulás növelésére irányuló eljárások egyben az antinutritív anyagok szintjének csökkentésére is irányul. A mikrohullámú termikus kezelés megfelelő lehetőséget nyújt táplálkozási és takarmányozási fehérje-hordozók emészthetőségének, illetve ezáltal biológiai hasznosulásának növelésére. Ezt kívánjuk az alábbiakban bizonyítani.

## 3. A KÍSÉRLETI HIPOTÉZIS ÉS A VIZSGÁLATI KÖRÜLMÉNYEK

A kísérletek alapvető célja a szója antinutritív komponensei szintjének csökkentése mikrohullámú termikus kezeléssel, az optimális eljárás- és műveleti paraméterek meghatározása korszerű kísérlettervezési módszerrel és az eredmények kiértékelésére alkalmazott új matematikai-statisztikai eljárással.

A laboratóriumi kísérleteket "Labotron 500" típusú vákuumozható, forgótányéros mikrohullámú készüléken végeztük. A készüléken két, folytonos működésű generátorteljesítmény állítható be: 250 W és 500 W. A kezelés végezhető folyamatosan és impulzus üzemmódban. A vákuum értékét 1 kPa-ig lehet gyakorlatilag beállítani. Lehetőség van továbbá a konvekciós melegítéssel történő kombinált kezelésre is.

Előzetesen kísérleteket végeztünk a mikrohullámú berendezés teljesítmény hasznosítására:  $\eta_{P(250W)} = 78\%$ ,  $\eta_{P(500W)} = 55\%$ . A mérési adatokból az is megállapítható volt, hogy a teljesítménytér egyenletes, kivéve az igen alacsony vákuum beállításokat, ahol a tesztelő anyagként használt víz már eléri a forrásponti hőmérsékletét és a kifröccsent hányad meghamisította a kiértékelést. Az így keletkezett kiugró mérési pontokat robusztus regressziós módszerek alkalmazásával azonosítani tudtuk (Rajkó, 1994a).

A technológiai kísérleteket laboratóriumi vizsgálatokkal minősítettük. Ennek során elsősorban az antinutritív anyagok változását ellenőriztük. Az antinutritív anyagok közül a tripszininhibitor, valamint az ureáz inaktiválódását határoztuk meg az MSZ 21175-1988 szabvány, valamint a takarmányokra vonatkozó előírások szerint. A szójakészítmények hőkezeltiségének jellemzésére alkalmas az ureáz aktivitás, valamint a tripszininhibitorok csökkenésének mérése. Az enzimek stabilitása igen különböző, a szójában lévő Bowman-Birk féle inhibitor 8000 Dalton és igen hőstabil (Birk, 1994), míg a 480000 Dalton molekulatömegű ureáz kisebb hő hatására is irreverzibilis denaturációt szenved.

#### 4. KÍSÉRLETTERVEZÉS, KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

Előzetes technológiai kísérletekkel, valamint korábbi kutatásaink eredményeit alkalmazva (Friderikusz et al., 1991) meghatároztuk az eljárás- és műveleti paraméterek (továbbiakban faktorok) alkalmazásának tartományait, nevezetesen:

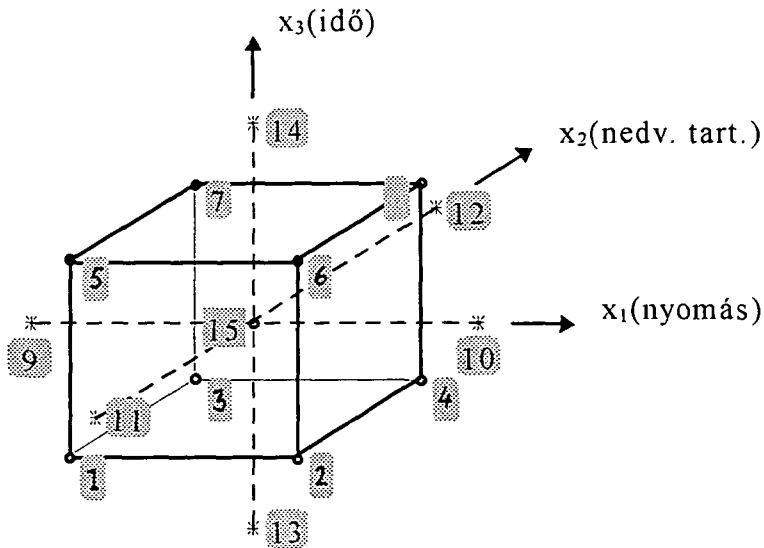
- az üregrezonátorban alkalmazott nyomás (vákuum) értékét,
- a visszanedvesítés mértékét és
- a kezelési időt.

A faktorok szintjeinek beállításánál egyedüli nehézséget a visszanedvesítés mértékének pontos beállítása jelentette. Mivel a gyors kivitelezés fontos kritérium mind az üzemi, mind a laboratóriumi gyakorlatban, ezért egy egyszerű, de kellően pontos eljárást alakítottunk. Számított mennyiségű vizet adtunk a számított mennyiségű szójababhoz:

$$m_{\text{viz}} = m_{\text{össz}} \frac{w\%_{\text{cél}} - w\%_{\text{kezdeti}}}{100 - w\%_{\text{kezdeti}}}, \quad (2)$$

ahol  $m_{\text{viz}}$  a légszár szójababhoz adandó víz tömege,  $m_{\text{össz}}$  a kondicionált szójabab tömege ( $m_{\text{össz}} = m_{\text{viz}} + m_{\text{légszár szójabab}}$ ),  $w\%_{\text{kezdeti}}$  a légszár szójabab nedvességtartalma,  $w\%_{\text{cél}}$  a kísérleti tervben előírt nedvességtartalom. A kondicionálást 12<sup>h</sup> ill. 24<sup>h</sup>-án keresztül végeztük. A hosszabb idejű kondicionálásnak sajnos határt szabott a szójabab gyors csírázása.

A tartományok ismeretében mind a 250W, mind az 500W teljesítményhez másodfokú kísérleti tervet állítottunk össze. A mérések csökkentése érdekében a háromszintes tervek helyett kompozíciós terveket alkalmaztunk. Ezek magja egy kétszintes teljes faktoros kísérleti terv 6 ún. csillagponttal és 1 középponttal kiegészítve. Az 1. ábrán az 500W teljesítményhez beállított kísérletterv elrendezése látható, míg az 1. táblázat a kísérletterv végrehajtásának eredményeit mutatja be.

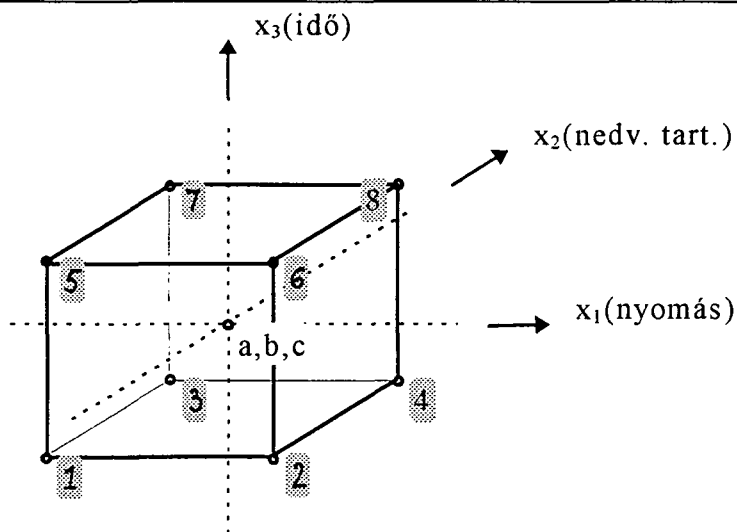


1. ábra

A kompozíciós központosított kísérletterv elrendezése

1. táblázat: A kompozíciós kísérletterv végrehajtásának eredménye

kísérlet sorszáma	nyomás (hPa)	nedvesség-tartalom (%)	idő (perc)	ureáz aktivitás ( $\frac{\text{mg N}}{\text{g perc}}$ )
1.	172	14,4	1,3	6,33
2.	858	14,4	1,3	6,48
3.	172	35,6	1,3	6,67
4.	858	35,6	1,3	7,99
5.	172	14,4	3,7	6,95
6.	858	14,4	3,7	7,00
7.	172	35,6	3,7	7,51
8.	858	35,6	3,7	3,74
9.	30	25	2,5	6,74
10.	1000	25	2,5	5,68
11.	515	10	2,5	7,10
12.	515	40	2,5	5,62
13.	515	25	0,8	7,30
14.	515	15	4,2	4,90
15.	515	25	2,5	6,58



2. ábra

Elsőfokú teljes faktoriális kísérletterv elrendezése

2. táblázat: Az elsőfokú kísérletterv végrehajtásának eredménye

kísérlet sorszáma	nyomás (hPa)	nedvesség-tartalom (%)	idő (perc)	ureáz aktivitás ( $\frac{\text{mg N}}{\text{g perc}}$ )
1.	716	22,7	3,3	1,604
2.	1000	22,7	3,3	1,529
3.	716	28,3	3,3	1,901
4.	1000	28,3	3,3	0,571
5.	716	22,7	4,1	1,039
6.	1000	22,7	4,1	0,098
7.	716	28,3	4,1	0,520
8.	1000	28,3	4,1	0,098
a,	858	25,5	3,7	0,148
b,	858	25,5	3,7	0,149
c,	858	25,5	3,7	0,577

A regressziót lépésenkénti változó szelektálással végrehajtva az 1. táblázatban közölt adatokra az alábbi legjobban illeszkedő függvényt kaptuk:

$$y_{\text{ureaz aktivitás}} = 5,80 - 0,00315x_1 + 0,000327x_1x_2 + 0,00225x_1x_3 + 0,0226x_2x_3 - 0,000201x_1x_2x_3 \quad (3)$$

A fenti függvényt felhasználva határoztuk meg az optimumot és az a köré tervezett elsőfokú teljes faktoros tervet (2. ábra). A 2. táblázatban az e terv szerint végrehajtott kezelések eredményeit mutatjuk be.

Kiértékelve a bemutatott adatokat a következő adekvát lineáris függvénnyel közelítettük a faktorok hatását:

$$y_{\text{ureaz aktivitás}} = 0,920 - 0,346x_1 - 0,148x_2 - 0,481x_3 \quad (4)$$

Ezen függvény gradiensének felhasználásával készítettük el a gradiens kísérlettervet, melynek eredményeit a 3. táblázatban foglaljuk össze.

3. táblázat: A gradiens kísérletterv végrehajtásának eredménye

kísérlet sorsz.	nyomás	nedvesség- tartalom	idő	ureáz aktivitás	tripszin- inhibitor aktivitás
	(hPa)	(%)	(perc)	( $\frac{\text{mg N}}{\text{g perc}}$ )	( $\frac{\text{TIU}}{\text{mg}}$ )
1.	887	25,8	3,81	0,409	5,82
2.	916	26,0	3,92	0,229	8,88
3.	946	26,3	4,04	0,180	6,05
4.	975	26,5	4,16	0,204	7,67
5.	1004	26,8	4,27	0,230	5,46

### 5. EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE, KÖVETKEZTETÉSEK

A kísérletekkel történő optimalizálás klasszikus megközelítése során a változókat egyenként változtatják úgy, hogy a többi változó értéke állandó maradjon. Ekkor a különböző változók hatása egymástól függetlenül értékelhető, az ún. ortogonalitás teljesül:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot x_{ki} = 0, \text{ ha } j \neq k; \quad j, k = 1, \dots, p. \quad (5)$$

Alapos kutatómunka esetén az elvégzendő kísérletek száma rohamosan növekedni fog, így olyan módszert érdemes használni, amely megőrzi a változók közötti ortogonális viszonyt, de kevesebb kísérlet is elegendő az optimális körülmények behatárolásához (Adler et al., 1977, Kemény et al., 1990, Mason et al., 1989, Davies, 1993).

A tanulmányban olyan kísérlettervezési módszert alkalmaztunk, melynek során az összes változót (faktort) egyszerre változtattuk, de minden esetben teljesült az ortogonalitás, így kevesebb mérés felhasználásával a faktorok egymástól független hatását is értékelni tudtuk.

Mind a 250W, mind az 500W teljesítményhez kompozíciós kísérleti tervet állítottunk össze, melyek végrehajtása után kiderült, hogy 500W teljesítményen a kezelés hatékonyabbnak bizonyult, így csak ezen teljesítményen elvégzett kísérletekről számoltunk be. A következő kísérletterv egy elsőfokú teljes faktoros kísérleti terv volt. Az eredmények alapján a gradiens mentén kijelöltük a várhatóan optimális faktorok értékeit. A 3. táblázat alapján megadható a 3 faktor optimális értékeit kellő bizonyossággal magába foglaló tartományok:



nyomás (hPa)	916–1004
nedvességtartalom (%)	26–26,8
idő (perc)	3,92–4,27

A gradiens kísérletterv szerint kezelt minták tripszininhibitor aktivitását is megmértük és az eredmények azt mutatják, hogy mindegyik a 10 TIU/mg határérték alatt van, tehát fogyaszthatók.

A kísérletsorozat folytatását tervezzük, melyben az ureáz aktivitás helyett az optimalizálás a tripszininhibitor aktivitásának csökkentésére irányul majd. Tervezzük a mikrohullámú kezelés impulzusszerű végrehajtásának tulajdonságait feltáró kísérletsorozat elvégzését, ill. a szójabab mellett más hüvelyes termék felhasználását is.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

Adler, Ju.P., Markova E.V. és Granovszkij, Ju.V. (1977): Kísérletek tervezése optimális feltételek meghatározására. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

Birk, Y. (1994): Protein proteinase inhibitors in food. *Proceedings of the International Euro Food Tox IV Conference, Vol. 1, pp.202-213.*

Davies, L. (1993): *Efficiency in research, development, and production: The statistical design and analysis of chemical experiments.* Royal Society of Chemistry, Cambridge.

Friderikusz, R., Szabó, G., Pallagi, E. (1991): Mikrohullámú kezelés hatása szójabafehérjék minőségére. *Élelmiszeripari Főiskola, p. 40.* (Diplomadolgozat).

Goldblith, S.A. (1967): *Basic principles of microwaves and recent developments.* *Adv. Food Res. 15, pp.277-301.*

Kemény, S. és Deák, A. (1990): *Mérések tervezése és eredményeik kiértékelése.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

Mason, R.L., Gunst, R.F. and Hess J.L. (1989): *Statistical design and analysis of experiments with applications to engineering and science.* John Wiley & Sons, New York.

MSZ 21175–1988

Rajkó, R. (1994a): Treatment of model error in calibration by robust and fuzzy procedures. *Anal. Lett.*, 27(1), 215–228

Rajkó, R. (1994b): Lineáris és linearizált függvénykapcsolatok kiértékelése. *Élelmiszeripari Főiskola, Tudományos Közlemények*. 17.

Szabó, G., Dörnyei, J. (1988): Development of an Equipment for Combinational Microwave and Hot Air Agglomerating-Drying for Food Powders. 6th International Drying Symposium. IDS'88. Keynote Lectures, Versailles. Vol. 1 209-215.

Szabó, G. (1990) Élelmiszer- és biotechnológiai műveletek intenzifikálása mikrohullámú energiával. IV. Vegyipari Gépészeti Konferencia, Budapest. 2, 405-419.

Szabó, G. (1991): A mikrohullámú technika alkalmazása az élelmiszeripari és biotechnológiai gyakorlatban. *Szeszipar*, 4, 124-127.

Szabó, G. (1989): Possibility of Using Microwave Techniques in Some Operations of Food- and Biotechnology. *Proceedings of the Vth Scientific Symposium of Socialist Countries on Biotechnology. Hungary*. Vol. 2, 45-48.

Szabó, G. (1992): Élelmiszer- és biotechnológiai műveletek intenzifikálása mikrohullámú energiával. *Lippay János tudományos ülészak, Budapest*. pp. 358-361.

Szabó, G. (1994): A mikrohullámú melegítés hőtranszport modelljének kidolgozása dimenzióanalízissel. *Élelmiszeripari Főiskola, Tudományos Közlemények*. 17.

## **THE EFFECT OF THE MICROWAVE HEATING TREATMENT ON THE QUALITY OF SOYABEAN**

**G. SZABÓ R. RAJKÓ E. KOVÁCS T. PAPP ZS. HOTYA**

*University of Horticulture and Food Industry  
College of Food Industry  
H-6701. Szeged, P.O.Box 433.*

### **ABSTRACT**

*The mostly used - for consuming and for foodstuff - and widespread protein bearers are the different legumes. In these substances the volume of protein occurs with a very favourable amino acid compound in the point of view of biology. But in fact the advantageous protein-content and compound occurs with the presence of great amount of harmful antinutrient substances. The different heating treatments-used for increasing the biological benefit-tend to decrease the level of the antinutrient substances simultaneously.*

*In the paper the authors give account of that in this case the microwave heating treatment is more effective than the traditional heating treatments. They made experiments in equipment which can be vacuumed, and they investigated the measurements of the decrease of the enzyme activity by different parameters of procedures.*

*With the usage of the method of planning experiments they could decrease significantly the number of experiments to find the optimum conditions for that treatment. The description of the novel statistical method - used for the evaluation of experimental results - are published.*