

SZÓJABAB MIKROHULLÁMÚ KEZELÉSÉHEZ MŰVELETTANI PARAMÉTEREK OPTIMALIZÁLÁSA KÍSÉRLETTERVEZÉSSEL

RAJKÓ RÓBERT és SZABÓ GÁBOR

**Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem
Élelmiszeripari Főiskolai Kar
Élelmiszeripari Műveletek és Berendezések Tanszék**

Kivonat: Étkezésre és takarmányozásra egyaránt világszerte legelterjedtebb fehérjehordozók a különböző hüvelyes magvak. Ezekben az anyagokban a fehérjetartalom 20-40%-os (mely biológiai szempontból igen kedvező aminosav-összetételt is jelent), a keményítő 50%-ban, a rostanyag 20%-ban van jelen. 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 mikrohullámú termikus kezelés sokkal hatásosabbnak mutatkozik a hagyományos termikus eljárásokhoz képest. A mikrohullám jellemző tulajdonsága, hogy homogén kezelést lehet vele elérni, mely nagy behatolási mélységgel és szelektív abszorpcióval párosul.

A tanulmány a szójababban lévő káros enzimaktivitás csökkentésének érdekében alkalmazott mikrohullámú kezelést részletezi. A mikrohullámú kezelés nem újdonság az irodalom szerint (pld. Esaka et al., 1986, Klinger and Decker, 1989), azonban egyikük sem végzett kísérletet az optimális paraméterek meghatározása érdekében.

A kísérletek Labotron 500 vákuumozható készülékkel történtek, az enzimaktivitás csökkenésének mértékét különböző eljárásparaméterek mellett vizsgálták. Az alkalmazott kísérlettervezési módszerrel jelentősen tudták csökkenteni a kísérletek számát arra vonatkozóan, hogy megtalálják a kezeléshez szükséges optimális feltételeket. Ezeket a laboratóriumi eredményeket könnyedén lehet általánosítani üzemi méretek esetében is.

1. A MIKROHULLÁMÚ HŐKEZELÉS FIZIKAI HÁTTERÉRŐL

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 energiatranszport 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 (**Márkus-Bednarik és Tóth, 1991, Czukor et al., 1993**), 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.

Szójabab dielektromos hőkezelésével számos kutató foglalkozott (**Pour et al., 1981, Petres et al., 1990, Kovács et al., 1991, Márkus-Bednarik és Tóth, 1991, Czukor et al., 1993**). A szójabab mikrohullámú kezelésének hatékonyságáról is számtalan tanulmány számolt be (**Pour et al., 1981, Hafez et al., 1983, Rodda et al., 1984, Nelson, 1985, Esaka et al., 1986, Sakla et al., 1988, Yoshida és Kajimoto, 1988, Snyder et al., 1991**), intézetünkben is születettek ilyen irányú tapasztalatok (**Szabó és Dörnyei, 1988, Szabó, 1989, Szabó, 1990, Szabó, 1991, Friderikusz et al., 1991, Szabó, 1992**).

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**):

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

A volumetrikus hőáram tehát az erőtér frekvenciájával (**f**), az elektromos térerősség négyzetével ($E_{eff.}^2$), az anyag relatív dielektromos állandójával (κ') és a veszteségi szög tangensével ($tg\delta$) 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 megállapítható volt, hogy a teljesítménytér egyenletes, kivéve az igen alacsony vákuum beállításokat, melyeknél kiugró mérési pontokat észleltünk. A kiugró pontokat robusztus regressziós módszerek alkalmazásával azonosítani tudtuk **(Rajkó, 1994a)**. A kiugró értékek megjelenésének magyarázata: a tesztelő anyagként használt víz már eléri a forrásponti hőmérsékletét és a kifröccsent hányad meghamisította a kiértékelést.

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 hőkezelttségének jellemzésére alkalmas az ureáz aktivitás, valamint a tripszininhibitor aktivitás csökkenésének mérése.

A kísérletekhez felhasznált szója BOLYI 44-es hántolatlan, étkezési szója volt, kezdeti nedvessége 10%, zsírtartalma 19%. Kezdeti tripszininhibitor aktivitása 101 ± 8 TIU/mg a zsírtalanított szárazanyagra vonatkoztatva; a bemutatott táblázatokban is így szerepeltetjük a tripszininhibitor aktivitás értékeit.

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:

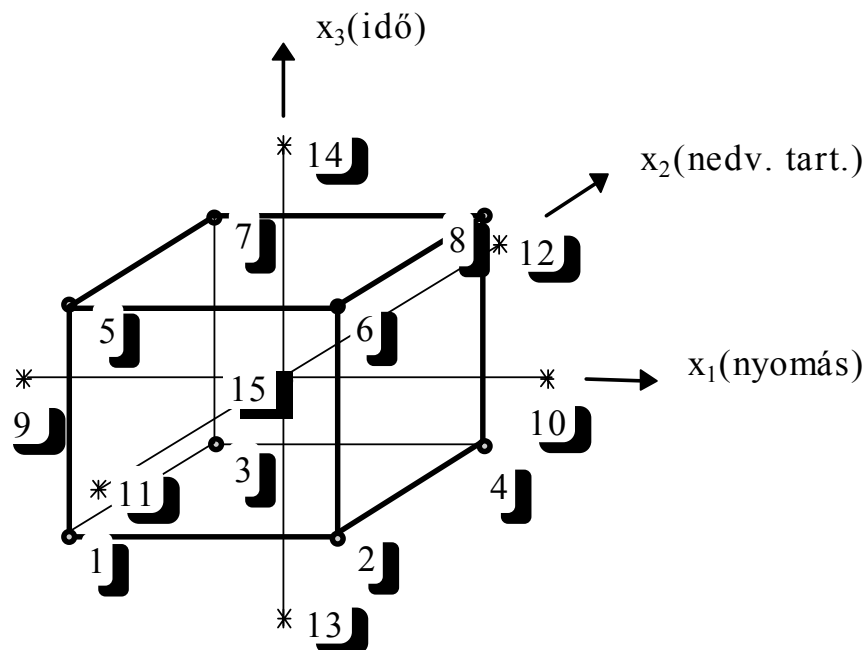
- *az üregrezonátorban alkalmazott nyomás (vákuum) értékét,*
- *a visszanedvesítés mértékét és*
- *a kezelési időt.*

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 alkalmaztunk. Számított mennyiségű vizet adtunk a számított mennyiségű szójababhoz:

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

ahol $m_{\text{v\u00edz}}$ a l\u00e9gsz\u00e1raz sz\u00f3jababhoz adand\u00f3 v\u00edz t\u00f6mege, $m_{\text{\u00f3ssz.}}$ a kondicion\u00e1lt sz\u00f3jabab t\u00f6mege ($m_{\text{\u00f3ssz.}} = m_{\text{v\u00edz}} + m_{\text{l\u00e9gsz\u00e1raz sz\u00f3jabab}}$), $w\%_{\text{kezdeti}}$ a l\u00e9gsz\u00e1raz sz\u00f3jabab nedvess\u00e9gtartalma, $w\%_{\text{c\u00e9l}}$ a kísérleti tervben el\u0151irt nedvess\u00e9gtartalom. A kísérletsorozat alatt a kondicion\u00e1lt sz\u00f3jabab t\u00f6meg\u00e9t ($m_{\text{\u00f3ssz.}}$) minden mint\u00e1n\u00e1l egys\u00e9gesen 100 g-nak v\u00e1lasztottuk. A kondicion\u00e1l\u00e1st 12^h ill. 24^h-\u00e1n kereszt\u00fcl v\u00e9gezt\u00fcnk. A hosszabb idej\u00fc kondicion\u00e1l\u00e1snak sajnos hat\u00e1rt szabott a sz\u00f3jabab gyors cs\u00edr\u00e1z\u00e1sa.

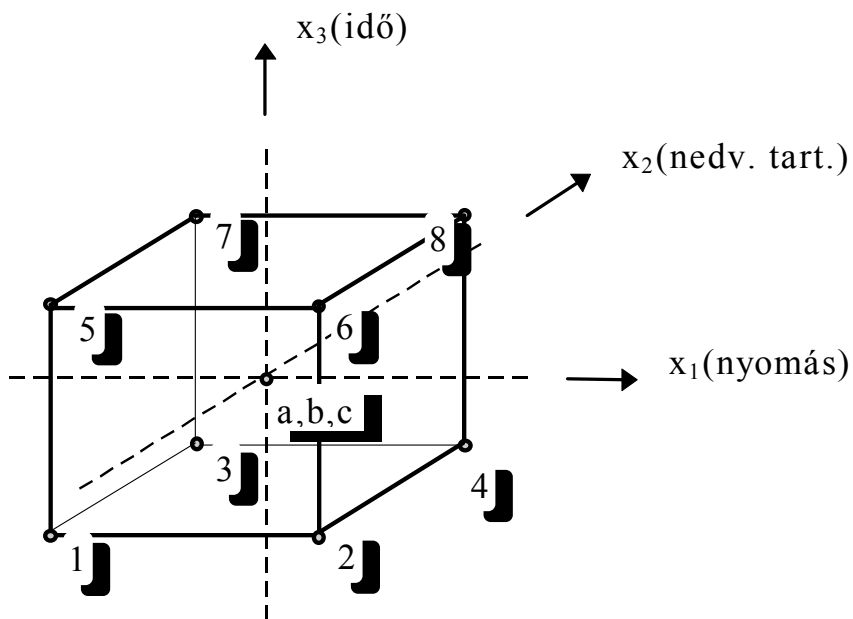
A tartom\u00e1nyok ismeret\u00e9ben mind a 250W, mind az 500W teljes\u00edtm\u00e9nyhez m\u00e1sodfok\u00fc kísérleti tervet \u00e1ll\u00edtottunk \u00f3ssze. A m\u00e9r\u00e9sek cs\u00f3kkt\u00e9se \u00e9rdek\u00e9ben a h\u00e1romszintes tervek helyett **kompoz\u00edc\u00f3s terveket** alkalmaztunk. Ezek magja egy k\u00e9tszintes teljes faktoros kísérleti terv 6 \u00fcn. csillagponttal \u00e9s 1 k\u00f6z\u00e9pponttal kieg\u00e9sz\u00edtve. Az 1. \u00e1br\u00e1n az 500W teljes\u00edtm\u00e9nyhez be\u00e1ll\u00edtott kísérletterv elrendez\u00e9se l\u00e1that\u00f3, m\u00edg az 1. t\u00e1bl\u00e1zat a kísérletterv v\u00e9grehajt\u00e1s\u00e1nak eredm\u00e9nyeit mutatja be.



1. \u00e1bra A kompoz\u00edc\u00f3s k\u00f6zpontos\u00edtott kísérletterv elrendez\u00e9se

1. táblázat A kompozíciós kísérletterv végrehajtásának eredménye

kísérlet sorszáma	nyomás	nedvesség- tartalom	idő	ureáz aktivitás
	(hPa)	(%)	(perc)	($\frac{\text{mg N}}{\text{g perc}}$)
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 sorszama	nyomás	nedvesség- tartalom	idő	ureáz aktivitás
	(hPa)	(%)	(perc)	$\left(\frac{\text{mg N}}{\text{g perc}}\right)$
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.

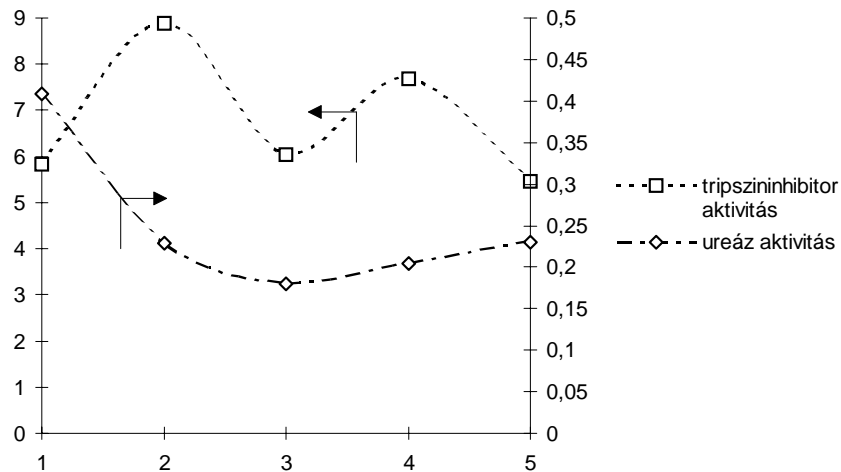
Kiértékelve a bemutatott adatokat a következő adekvát lineáris függvénnyel közelítettük a faktorok hatását:

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

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

3. táblázat A gradiens kísérletterv végrehajtásának eredménye

kísérlet sorszáma	nyomás	nedvesség-tartalom	idő	ureáz aktivitás	tripszininhibitor 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



3. ábra A gradiens kísérletterv eredménye grafikonon szemléltetve

Mint az a 3. ábráról látható, az ureáz aktivitás a gradiens mentén minimummal rendelkezik. Nem mondható ez el a tripszininhibitor aktivitásról, bár értéke mindig a 10 TIU/mg hárérték alatt van, tehát a minták fogyaszthatók.

Munkánk folytatásaként a tripszininhibitor aktivitása szerint kerestük meg az optimális faktor-beállításokat, az előzőekben már említett metódus szerint. A kompozíciós kísérletterv által kapott eredményeket a 4. táblázat, az elsőfokú kísérletterv által kapott eredményeket az 5. táblázat tartalmazza. A faktorok hatását az alábbi lineáris függvénnyel tudtuk leírni:

$$y_{\text{tripszininhibitor aktivitás}} = 9,67 - 1,18x_1 - 0,89x_2 - 1,421x_3 \quad (5)$$

A korrelációs koefficiens értéke 0,898 volt, és a kétoldalú F-próba sem mondott ellent a lineáris függvénykapcsolatnak sem 90%, sem 98%-os megbízhatósági szinten: $F_{\text{számított}} = 5,54 < F_{90\%}(3,4) = 6,94 < F_{98\%}(3,4) = 16,7$. Így elkészíthettük a gradiens kísérlettervet, melynek eredményeit a 6. táblázat mutatja be.

4. táblázat A kompozíciós kísérletterv végrehajtásának eredménye
(célfüggvényként a tripszininhibitor aktivitást választva)

kísérlet sorszáma	nyomás	nedvesség- tartalom	idő	tripszininhibito r aktivitás
	(hPa)	(%)	(perc)	$\left(\frac{\text{TIU}}{\text{mg}}\right)$
1.	561	15,4	5,0	7,76
2.	961	15,4	5,0	10,35
3.	561	28,6	5,0	9,53
4.	961	28,6	5,0	4,87
5.	561	15,4	14,0	9,29
6.	961	15,4	14,0	8,48
7.	561	28,6	14,0	8,72
8.	961	28,6	14,0	9,29
9.	518	22,0	9,5	8,37
10.	1004	22,0	9,5	5,43
11.	761	14,0	9,5	9,48
12.	761	30,0	9,5	10,88
13.	761	22,0	4,0	10,21
14.	761	22,0	15,0	10,48
15.	761	22,0	9,5	9,46

5. táblázat Az elsőfokú kísérletterv végrehajtásának eredménye (célfüggvényként a tripszininhibitor aktivitást választva)

kísérlet sorszáma	nyomás	nedvesség-tartalom	idő	tripszininhibitor aktivitás
	(hPa)	(%)	(perc)	$\left(\frac{\text{TIU}}{\text{mg}}\right)$
1.	920	25,0	7,0	6,58
2.	1004	25,0	7,0	7,15
3.	920	35,0	7,0	7,28
4.	1004	35,0	7,0	11,99
5.	920	25,0	11,0	10,32
6.	1004	25,0	11,0	11,08
7.	920	35,0	11,0	9,79
8.	1004	35,0	11,0	13,20

6. táblázat A gradiens kísérletterv végrehajtásának eredménye (célfüggvényként a tripszininhibitor aktivitást választva)

kísérlet sorszáma	nyomás	nedvesség-tartalom	idő	tripszininhibitor aktivitás
	(hPa)	(%)	(perc)	$\left(\frac{\text{TIU}}{\text{mg}}\right)$
1.	962	30,0	9,00	5,21
2.	951	29,0	8,37	6,65
3.	940	28,0	7,74	6,85
4.	929	27,0	7,10	4,32
5.	918	26,0	6,47	6,10
6.	907	25,0	5,84	6,48

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:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \cdot x_{ki} = 0, \text{ ha } j \neq k; \quad j, k = 1, K, p. \quad (6)$$

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, amikor az ureáz aktivitást választottuk célfüggvénynek, megadható a 3 faktor optimális értékeit 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 hárárték alatt van, tehát fogyaszthatók.

A kísérletsorozat folytatásaként az ureáz aktivitás helyett az optimalizálást a tripszininhibitor aktivitásának csökkentésére irányítottuk. Ebben az esetben a 6. táblázat alapján a 3 faktor optimális értékeit magába foglaló tartományok:

nyomás (hPa)	918–940
nedvességtartalom (%)	24,3–29,5
idő (perc)	6,5–7,7

Az utóbbi két táblázat összehasonlítása során arra a következtetésre juthatunk, hogy az idő faktor kivételével a másik két faktor optimális tartománya közel azonos, tehát kismértékű vákuum alkalmazása és megfelelő mértékű nedvesítés mind az ureáz aktivitás, mind a tripszininhibitor aktivitás optimális csökkenését eredményezi, ha megfelelő ideig történik a mikrohullámú kezelés.

A jövőben tervezzük a mikrohullámú kezelés impulzusszerű végrehajtásának tulajdonságait feltáró kísérletsorozat elvégzését, ill. a szójabab mellett más hüvelyes termék felhasználását is. A laboratóriumi körülmények között kapott eredményeinket és a tapasztalatokat, úgy gondoljuk könnyen alkalmazhatjuk üzemi körülmények között történő optimalizálás elvégzéséhez.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Megköszönjük Dr. Kovács Erzsébetnek áldozatkész közreműködését az analitikai mérések elvégzésében, valamint köszönetünket fejezzük ki Papp Gézőnének és Dr. Hotya Líviuszának a kísérletek során nyújtott segítségükért. Jelen kutatást az OTKA T-017714 sz. pályázata támogatta.

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.*

Czukor, B., Márkus-Bednarik, Zs., Petres J. and Tóth, B. (1993): Szójabab nagyfrekvenciás hőkezelése. *Élelmezési Ipar, 97, pp.40-44.*

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

Esaka, M., Suzuki, K. and Kubota, K. (1986): Inactivation of lipoxygenase and trypsin inhibitor in soybeans on microwave irradiation. *Agricultural and Biological Chemistry, 50(9), pp.2395-2396.*

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

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

Grünewald, Von Th. und Karlsruhe, M.R. (1981): Messung der Temperatur und der Temperaturverteilung im Mikrowellenfeld. *ZFL - Zeitschr. f. Lebensmittel-Technologie u. Verfahrenstechnik, 32(3), pp.85-88.*

Hafez, Y.S., Gurbax-Singh, McLellan, M.E. and Lord Monroe, L. (1983): Effects of microwave heating on nutritional quality of soybeans. *Nutrition Reports International, 28(2), pp.413-421.*

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

Kovacs, E., Lam, N.D., Beczner, J. and Kiss, I. (1991): Effect of irradiation and dielectric heating on soybean ultrastructure, trypsin inhibitor, and lipoxygenase activities. *Food Structure, 10(3), pp.217-227.*

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.

Márkus-Bednarik, Zs. and Tóth, B. (1993): Dielektromos melegítés az élelmiszeriparban. *Élelmezési Ipar*, **95**, pp.452-457.

MSZ 21175–1988: Szója és szójatermékek tripszininhibitor-aktivitásának meghatározása

Nelson, S.O. (1985): RF and microwave energy for potential agricultural applications. *Journal of Microwave Power*, **20(2)**, pp. 65-70.

Petres, J., Markus, Z., Gelencser, E., Bogar, Z., Gajzago, I. and Czukor, B. (1990): Effect of dielectric heat treatment on protein nutritional values and some antinutritional factors in soya bean. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **53(1)**,pp. 35-41.

Pour, El.A., Nelson, S.O., Peck, E.E., Tjhio, B. and Stetson, L.E. (1981): Biological properties of VHF- and microwave-heated soybeans. *Journal of Food Science*, **46(3)**, pp. 880-885.

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

Rajkó, R. (1994b): Lineáris és linearizált függvénykapcsolatok kiértékelése. *Élelmiszeripari Főiskola, Tudományos Közlemények*, **17**, pp.44-52.

Rodda, E.D., Hill, P.R. and Harshbarger, K.E. (1984): Microwave-roasted soybeans. *Transactions of the ASAE*, **27(1)**, pp.282-286.

Sakla, A.B., Ghali, Y., El Farra, A. and Rizk, L.F. (1988): The effect of environmental conditions on the chemical composition of soybean seeds: deactivation of trypsin inhibitor and effect of microwave on some components of soybean seeds. *Food Chemistry*, **29(4)**, pp. 269-274.

Snyder, J.M., Mounts, T.L. and Holloway, R.K. (1991): Volatiles from microwave-treated, stored soybeans. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **68(10)**, pp.744-747.

Szabó, G. and 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**, pp.209-215.

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**, pp.45-48.

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

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

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, pp.23-30.**

Yoshida, H. and Kajimoto, G. (1988): Effects of microwave treatment on the trypsin inhibitor and molecular species of triglycerides in soybeans. *Journal of Food Science,* **53(6), pp.1756-1760.**

**OPTIMISATION OF OPERATIONAL PARAMETERS FOR
MICROWAVE HEATING TREATMENT OF SOYBEAN
BY EXPERIMENTAL DESIGN**

R. RAJKÓ AND G. SZABÓ

**Department of Unit Operations and Food Processing
Institute of Food Industry College
University of Horticulture and Food Industry
H-6701 Szeged, P.O. Box 433.**

ABSTRACT

The mostly used and wide spread **protein** bearers are the **legumes** because of their *20-40 % of protein, 50 % of starch* and *almost 20 % of dietary fibre* ensure high food value. The favourable volume of protein often occurs with high amount of **antinutrient compounds** in raw legumes. To increase biological benefit, good possibility of digestion and decrease of antinutrient compounds in legumes traditional procedures, heating or blanching, are generally used.

The usage of **microwave energy** is more sufficient than the traditional heating treatment. The characteristic feature of microwave is, that it ensures homogeneous operation in the whole volume of substance the large penetrating depth and the selective absorption.

Authors have been investigated the effect of microwave energy for reducing enzyme activity in whole soybeans. This application has been appeared in the literature (e.g., Esaka et al., 1986, Klingler and Decker, 1989), however, without searching for the optimal physical parameters. All the experiments measured with *Labotron 500* vacuumable microwave device. The experiments investigated here were designed carefully to find the optimum conditions for the treatment. The paper shows the results and the description of the statistical methods with which the evaluation was more effect and informative even with requiring less measurements. These laboratory-scale results are easily extendible to factory-scale as well.