

ZÁRÓJELENTÉS

A kutatási téma címe: A növénytermesztési tér N-forgalmának vizsgálata „talaj+növény” rendszerben a N-trágyázás fejlesztéséhez

A műtrágyázási tartamkísérletre épülő négy éves kutatási program főbb feladatai, elérendő eredmények:

- A N-trágyázás hatásának vizsgálata a kísérleti növények terméshozamára és minőségére, valamint a talaj N-szolgáltatására.
- Diagnosztikai célú növényanalízishez N-ellátottsági határértékek meghatározása.
- A kísérleti ciklus N-mérlegének elkészítése, együttes elemzése a megelőző 15 éves kísérleti periódus vizsgálati eredményével.
- A N-trágyázás környezeti hatásának vizsgálata a $\text{NO}_3\text{-N}$ eloszlásának, kimosódásának mérésével.
- A talaj ásványi N-tartalmának ($\text{NO}_3\text{-N}$) mérésen alapuló N-trágyaszükséglet számítási módszer adaptálása csernozjom réti talajra.

A kísérlet körülményei

A 2005-2008 között végzett kísérletek vizsgálatait az 1989-ben beállított műtrágyázási tartamkísérletben végeztük.

A műtrágyázási tartamkísérletet a Tessedik Sámuel Főiskola Mezőgazdasági Víz- és Környezetgazdálkodási Főiskolai Kara Növénytermesztéstani Tanszéke Kísérleti Telepén, Szarvason állítottuk be 1989-ben. A kísérleti terület talaja mélyben karbonátos csernozjom réti talaj, a humuszos réteg vastagsága 85-100 cm, a művelt réteg $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ -ja 5.0-5.2, humusztartalma 2.8-3.2%, CaCO_3 -ot nem tartalmaz, kötöttsége (K_A) 50, agyagtartalma 32%. A kísérlet beállítása előtt 1989 őszén az $\text{AL-P}_2\text{O}_5$ 156 mg kg^{-1} , az $\text{AL-K}_2\text{O}$ 322 mg kg^{-1} , AL-Na 212 mg kg^{-1} , a KCl-Mg 765 mg kg^{-1} , az EDTA-Mn 386 mg kg^{-1} , az EDTA-Cu 5,4 mg kg^{-1} és az EDTA-Zn 3.0 mg kg^{-1} volt a kísérleti terület átlagában. A MÉMNAK (1987) által

elfogadott módszerek és határértékek alapján a talaj ellátottsága P-ból, K-ból és Cu-ból jó, Mg-ból és Mn-ból magas, még Zn-ből kielégítő volt. A talajvíz átlagos mélysége 300-350 cm. A trágyakezeléseket 4-4 N-, P- és K-szinten alakítottuk ki, teljes kombinációban, azaz 64 kezeléssel, kétszeresen osztott parcellás elrendezésben, három ismétlésben. A kísérletben alkalmazott trágyakezelések: nitrogénből: $N_0=0$; $N_1= 80$; $N_2= 160$; $N_3= 240$ kg N ha⁻¹ év⁻¹; foszforból (P₂O₅): $P_0= 0$; $P_1= 100$ kg ha⁻¹ év⁻¹; $P_2= 500$ kg ha⁻¹ 1989-ben, 1993-ban és 2001-ben, $P_3= 1000$ kg ha⁻¹ 1989-ben, 1993-ban és 2001-ben; káliumból (K₂O): $K_0= 0$; $K_1= 300$ kg ha⁻¹ év⁻¹ 1989-1992, 100 k⁻¹g ha év⁻¹ 1993-tól; $K_2= 600$ kg ha⁻¹ 1989-ben és 2001-ben, 1000 kg ha⁻¹ 1993-ban; $K_3= 1200$ kg ha⁻¹ 1989-ben és 2001-ben, 1500 kg ha⁻¹ 1993-ban. A nagyadagú P és K feltöltő trágyázás célja az volt, hogy jól elkülönülő ellátottsági szinteket alakítsunk ki a talajban a tápláltsági szituációk tanulmányozására. A nitrogént ammóniumnitrát (34%), a foszfort szuperfoszfát (18%) és a káliumot kálisó (40-60%) formájában őszelel juttatunk ki. A kísérletben évente 4 növény (őszi árpa, kukorica, szója, kender) szerepelt kiterített vetésciklusban, 4x 192 db parcellán, ahol a másodrendű alparcellák mérete 4 x 5= 20 m² volt.

A kutatás a N-hatások vizsgálatára terjedt ki.

A kísérletben végzett fontosabb vizsgálatok: a talaj ásványi N-tartalmának mérése a 0-60 cm-es talajrétegben a vetést megelőzően és a tenyészidő alatt, valamint 2007 őszelel 300 cm-es mélységben; növényanalízis a N-ellátottsági határértékek megállapításához; termés hozam és termésminőség mérés.

Terjedelmi korlátok miatt a kísérleti eredmények csak egy része van táblázatos formában bemutatva.

Kutatási eredmények

1. A N-trágyázás hatása a kísérleti növények termés hozamára és minőségére, valamint a talaj N-szolgáltatására

Termés hozam, termésminőség

Nagy termés hozamú (9-12 t ha⁻¹) évelel a kukorica gazdaságos termésszintje (a termésmaximum 95 %-a) 160 kg ha⁻¹-os N-trágyázással érhető el, amikor a 0-60 cm-es

talajréteg vetés előtti $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalma $90\text{-}120 \text{ kg ha}^{-1}$. Kiseb terméshozamú években ($6\text{-}8 \text{ t ha}^{-1}$) a gazdaságos termésszint 80 kg^{-1} -os N-adaggal elérhető, a túlzott N-ellátás már terméshozam csökkentő a szárazabb években. A gazdaságos termésszintet adó N-trágyázás a kukorica fehérjetartalmát $1.0\text{-}1.5 \%$ -kal növelte a fehérje aminosav összetételének kismértékű változása mellett. A N-trágyázás a kukorica olajtartalmát és zsírsav összetételét érdemben nem befolyásolja (1. táblázat).

1. táblázat. A N-ellátottság hatása a kukorica szemtermésére,
 t ha^{-1} szárazanyag
 (Szarvas, 2005-2008)
 N-főhatás

Év	Nitrogén adag kg ha^{-1}				SzD _{5%}	Átlag
	0	80	160	240		
	Szemtermés t ha^{-1}					
2005	6.97	10.13	11.98	12.17	0.34	10.31
2006	5.92	7.86	9.08	9.62	0.17	8.12
2007	5.11	5.83	5.97	5.49	0.21	5.60
2008	9.04	11.46	12.24	11.84	0.38	11.14
Átlag	6.76	8.82	9.81	9.78	-	8.79

A kísérleti évek átlagában az őszi árpa szemtermését a $40+40 \text{ kg ha}^{-1}$ -os N-trágyázás mintegy 1.7 t ha^{-1} -ral növelte a N-trágyázás nélküli kontrollhoz képest. Ennél nagyobb adagú N-trágyázás 2007-ben és 2008-ban a szemtermést szignifikánsan csökkentette a termésmaximumhoz képest. A tél végén (márciusban) végzett $\text{NO}_3\text{-N}$ vizsgálatok szerint a 40 kg ha^{-1} N-alaptrágyázott kezelésekben a $0\text{-}60 \text{ cm}$ talajréteg $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma $30\text{-}35 \text{ kg ha}^{-1}$ volt. Az erre kijuttatott 40 kg ha^{-1} N-fejtrágyával a gazdaságos termésszintet el lehetett érni. Az őszi árpa fehérjetartalmát az emelkedő N-ellátottsági szint fokozatosan növelte. A lizin kivételével mindegyik aminosav mennyisége gyarapodott a jobb N-ellátottság hatására (2., 5. táblázatok).

A szója terméshozamát a 80 kg ha^{-1} -os N-trágyázás szignifikánsan $0.2\text{-}0.3 \text{ t ha}^{-1}$ -ral növelte a kontrollhoz képest. A nagyobb adagú N-trágyázás hatására a magtermés vagy szinten maradt, vagy csökkent. A jó N-szolgáltatású talajon a N-trágyázás a szója minőségét érdemben nem befolyásolta (3., 6. táblázatok).

A kísérleti évek átlagában a kender gazdaságos kórótermése 80 kg ha⁻¹-os N-trágyázással elérhető volt. A nagyobb adagú N-trágyázás a terméshozamot már nem növelte, csak a minőséget rontotta (4. táblázat).

2. táblázat. A N-ellátottság hatása az őszi árpa szemtermésére,
t ha⁻¹ szárazanyag
(Szarvas, 2006-2008)
N-főhatás

Év	Nitrogén adag kg ha ⁻¹				SzD _{5%}	Átlag
	0	40+40	80+80	120+120		
	Szemtermés t ha ⁻¹					
2006	1.94	3.23	3.65	3.61	0.15	3.10
2007	1.93	3.62	3.41	2.70	0.17	2.91
2008	3.61	5.63	6.25	4.45	0.26	4.73
Átlag	2.49	4.16	4.10	3.58	-	3.58

3. táblázat. A N-ellátottság hatása a szója magtermésére,
t ha⁻¹ szárazanyag
(Szarvas, 2005-2008)
N-főhatás

Év	Nitrogén adag kg ha ⁻¹				SzD _{5%}	Átlag
	0	80	160	240		
	Magtermés t ha ⁻¹					
2005	2.53	2.79	2.76	2.58	0.10	2.66
2006	2.72	2.98	2.93	2.85	0.10	2.87
2007	2.25	2.57	2.60	2.32	0.14	2.43
2008	2.17	2.42	2.22	1.90	0.10	2.17
Átlag	2.41	2.69	2.62	2.41	-	2.53

4. táblázat. A N-ellátottság hatása a kender kórótermésére,
t ha⁻¹ szárazanyag
(Szarvas, 2005-2008)
N-főhatás

Év	Nitrogén adag kg ha ⁻¹				SzD _{5%}	Átlag
	0	80	160	240		
	Kórótermés t ha ⁻¹					
2005	6.90	11.55	11.80	11.83	0.78	10.62
2006	13.40	18.17	18.68	15.82	1.87	16.51
2007	10.10	12.35	12.23	10.84	0.62	11.38
2008	9.37	10.93	11.97	11.83	0.88	11.02
Átlag	9.94	13.25	13.67	12.58	-	12.35

5. táblázat. A N-ellátottság hatása az őszi árpa fehérjetartalmára és aminosav összetételére
(g 100⁻¹ g szárazanyag)
(Szarvas, 2006)

Vizsgált komponensek	Nitrogén adag kg ha ⁻¹				SzD _{5%}	Átlag
	0	80	160	240		
Fehérjetartalom	10.3	11.5	13.0	13.9	0.77	12.12
Aminosav						
Esszenciális (EA)						
Arginin	0.40	0.53	0.62	0.60	0.17	0.54
Hisztidin	0.32	0.45	0.45	0.45	0.07	0.41
Izoleucin	0.34	0.38	0.45	0.47	0.05	0.41
Leucin	0.70	0.77	0.89	0.94	0.07	0.82
Lizin	0.38	0.45	0.47	0.50	NS	0.45
Methionin	1.19	0.22	0.24	0.25	0.03	0.23
Fenilalanin	0.54	0.61	0.70	0.74	0.09	0.65
Treonin	0.34	0.36	0.43	0.44	0.03	0.39
Valin	0.45	0.50	0.60	0.63	0.05	0.54
EA összesen	3.66	4.27	4.85	5.02	-	4.44
Nem esszenciális (NEA)						
Alanin	0.45	0.48	0.57	0.59	0.02	0.52
Aszparaginsav	0.68	0.71	0.77	0.80	0.05	0.74
Cisztin	0.27	0.28	0.30	0.32	0.03	0.29
Glicin	0.43	0.47	0.59	0.53	0.04	0.49
Glutaminsav	2.19	2.47	2.89	3.14	0.21	2.67
Prolin	1.27	1.32	1.48	1.49	0.13	1.39
Szerin	0.43	0.47	0.55	0.58	0.04	0.51
Tirozin	0.31	0.36	0.41	0.46	0.07	0.38
NEA összesen	6.03	6.56	7.56	7.91	-	6.99
EA + NEA	9.69	10.83	12.41	12.93	-	11.43

6. táblázat. A N-ellátottság hatása a szója minőségére
(g 100⁻¹ g szárazanyag)
(Szarvas, 2006)

Minőségi tulajdonságok	Nitrogén adag kg ha ⁻¹				SzD _{5%}	Átlag
	0	80	160	240		
Olajtartalom	20.2	20.1	20.9	20.7	NS	20.4
Fehérjetartalom	43.1	34.8	34.2	34.5	NS	34.4
Aminosav						
Esszenciális (EA)						
Arginin	2.11	1.93	1.94	2.12	NS	2.03
Hisztidin	1.26	1.33	1.26	1.38	NS	1.31
Izoleucin	1.44	1.44	1.37	1.46	NS	1.43
Leucin	2.55	2.45	2.45	2.56	NS	2.50
Lizin	2.16	2.13	2.07	2.25	NS	2.15
Methionin	0.60	0.60	0.59	0.61	NS	0.60
Fenilalanin	1.73	1.70	1.68	1.68	NS	1.70
Treonin	1.37	1.32	1.28	1.37	NS	1.33
Valin	1.46	1.49	1.39	1.47	NS	1.45
EA összesen	14.68	14.39	14.03	14.90	-	14.50
Nem esszenciális (NEA)						
Alanin	1.63	1.57	1.57	1.56	NS	1.58
Aszparaginsav	3.68	3.47	3.47	3.60	NS	3.56
Cisztin	0.57	0.59	0.57	0.58	NS	0.58
Glicin	1.53	1.45	1.43	1.54	NS	1.49
Glutaminsav	5.72	5.39	5.36	5.55	NS	5.50
Prolin	2.21	2.10	2.12	2.19	NS	2.15
Szerin	1.73	1.66	1.64	1.69	NS	1.68
Tirozin	1.33	1.31	1.35	1.39	NS	1.35
NEA összesen	18.40	17.54	17.51	18.10	-	17.89
EA + NEA	33.08	31.93	31.54	33.00	-	32.39

A talaj N-szolgáltatása

A talaj N-szolgáltatását részben az ásványi N-tartalom tenyésztő alatti változásával, részben a később ismertetésre kerülő N-mérleg adatokkal jellemezhetjük.

A talaj ásványi N-tartalmának tenyésztő alatti változását a 2006. évi vizsgálatok adatai alapján mutatom be a kukorica és a szója kísérletekben.

A kukorica vetését megelőzően (04.15.) a talaj könnyen felvehető N-frakciói közül a NO₃-N mennyisége szoros összefüggést mutatott a N-trágyázás szintjével. Ugyanakkor a 0-60 cm réteg NH₄-N mennyisége lényegesen kisebb volt, mint a NO₃-N-é és értéke kevésbé

függött a N-trágyázástól. Ez a tendencia május végéig, a kezdeti fejlődés időszakában még érvényesült. Később az intenzív szárazanyag-felhalmozás és tápelemfelvétel periódusában a talaj NO₃-N-készlete jelentősen lecsökkent a talajban, és a címerhányást megelőzően a 0-60 cm réteg NO₃-N-készlete csak 15-26 kg ha⁻¹ között változott a N-trágyázástól függően. E periódusban azonban az intenzív mineralizáció következtében jelentősen megnőtt a NH₄-N mennyisége. A virágzás, szemképződés fázisában a 0-60 cm-es talajréteg N_{min} készlete fokozatosan csökkent és betakarításra a N-frakciók mennyiségében jelentős különbség nem volt kimutatható a N-trágyázástól függően (7. táblázat). Hasonló tendencia mutatható ki a szója talaja ásványi N-tartalmának változásában (8. táblázat).

7. táblázat. A talaj ásványi N-tartalmának tenyészidő alatti változása különböző N-ellátottsági szinten, N kg ha⁻¹ a 0-60 cm-es talajrétegben (Szarvas, 2006. kukorica)

N _{min}	Nitrogén adag kg ha ⁻¹			
	0	80	160	240
04. 15.				
NH ₄ -N	23.5	27.2	30.5	31.6
NO ₃ -N	40.8	58.9	90.7	121.8
Összes N _{min}	64.3	86.1	121.2	153.4
05. 24.				
NH ₄ -N	31.6	33.7	37.4	37.6
NO ₃ -N	32.5	52.3	83.6	111.7
Összes N _{min}	64.1	86.0	121.0	149.3
06. 28.				
NH ₄ -N	79.1	105.6	102.0	117.7
NO ₃ -N	14.8	21.8	21.5	26.4
Összes N _{min}	93.9	127.4	123.5	144.1
07. 27.				
NH ₄ -N	26.9	33.4	46.7	48.8
NO ₃ -N	9.8	15.6	15.0	20.7
Összes N _{min}	36.7	49.0	61.7	69.5
09. 04.				
NH ₄ -N	16.8	19.8	23.1	25.7
NO ₃ -N	15.6	14.6	15.5	16.1
Összes N _{min}	32.4	34.4	38.6	41.8
10. 16.				
NH ₄ -N	22.6	24.2	30.5	31.7
NO ₃ -N	13.0	14.6	16.2	20.5
Összes N _{min}	35.6	38.8	46.7	52.2

8. táblázat. A talaj ásványi N-tartalmának tenyészedő alatti változása különböző N-ellátottsági szinten, N kg ha⁻¹ a 0-60 cm-es talajrétegben (Szarvas, 2006. szója)

N _{min}	Nitrogén adag kg ha ⁻¹			
	0	80	160	240
04. 10.				
NH ₄ -N	20.8	24.2	24.7	25.6
NO ₃ -N	41.2	60.7	96.3	130.2
Összes N _{min}	62.0	84.9	121.0	155.8
04. 26.				
NH ₄ -N	23.5	27.2	30.1	33.7
NO ₃ -N	47.5	57.3	88.3	121.7
Összes N _{min}	71.0	84.5	118.4	155.4
05. 25.				
NH ₄ -N	31.5	35.7	36.7	39.4
NO ₃ -N	42.5	54.1	68.8	89.6
Összes N _{min}	74.0	89.8	105.5	129.0
06. 29.				
NH ₄ -N	40.0	43.6	55.0	58.4
NO ₃ -N	14.6	16.1	25.4	42.1
Összes N _{min}	54.6	59.7	80.4	100.3
07. 31.				
NH ₄ -N	51.2	52.2	52.4	54.8
NO ₃ -N	16.8	18.6	18.0	20.2
Összes N _{min}	68.0	70.8	70.4	75.0
10. 16.				
NH ₄ -N	24.5	27.9	28.0	27.3
NO ₃ -N	7.9	9.4	13.4	12.3
Összes N _{min}	32.4	37.3	41.4	39.6

2. N-ellátottsági határértékek a diagnosztikai célú növényanalízishez

A növényi részek N-koncentrációjának méréséhez évente a 64 trágyázási kezelés mintáit vizsgáltuk meg, és a termés hozam, valamint a növényi rész N-koncentrációja közötti összefüggések alapján határoztuk meg a N-tápláltságot jellemző határértékeket (9. táblázat).

9. táblázat. A kísérleti növények N-tápláltságát jellemző N-koncentráció határértékek, N g 100g⁻¹ szárazanyag (%)
(Szarvas, 2005-2008)

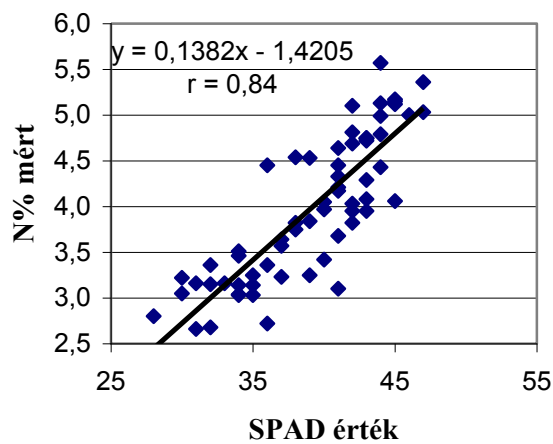
Növény	Fejlődési fázis	N-tápláltság		
		Hiányos	Kielégítő	Túlzott
		N %		
Kukorica	5-6 leveles címerhányás kezdete	<3.4	3.5 – 5.0	5.1<
		<2.1	2.2 – 4.0	4.1<
Őszi árpa	bokrosodás vége virágzás kezdete	<3.9	4.0 – 6.0	6.1<
		<4.7	4.8 – 5.3	5.4<
Szója	virágzás kezdete	<3.4	3.5 – 4.6	4.7<
Kender	6-7 levélpár, 70-100 cm magasság	<4.4	4.5 – 5.5	5.6<

Az őszi árpa N-tápláltságának meghatározása klorofill-tartalom méréssel

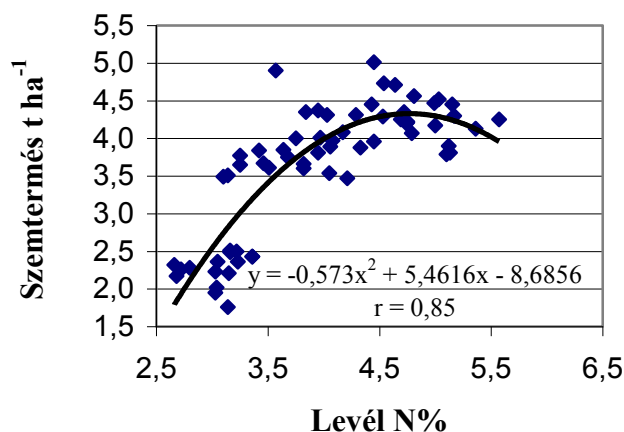
A kísérlet célja az volt: hogy vizsgáljuk az őszi árpa bokrosodásának és virágzásának időszakában a levél klorofilltartalmát jellemző SPAD-értékek és a levél N-koncentrációja közötti összefüggést; a N-trágyázási szaktanácsadásban értékeljük a műszer megbízhatóságát, használhatóságát az őszi árpa N-tápláltságának becsléséhez; ezek megítéléséhez adatok közlése a levél klorofilltartalma, N-koncentrációja és a termés hozam, illetve a termésminőség összefüggéséről.

Az őszi árpa bokrosodásának fázisában (Feekes 5-6) N-trágyázás nélkül a levél N-koncentrációja 3.04 % volt. A N-alaptrágyázás emelkedő adagja (40, 80, 120 kg N ha⁻¹) a levél N-tartalmát szignifikánsan növelte 3.60-4.89 % intervallumban. A N-ellátottság függvényében a levél N-tápláltságát jellemző SPAD-érték is megbízhatóan növekedett. Az

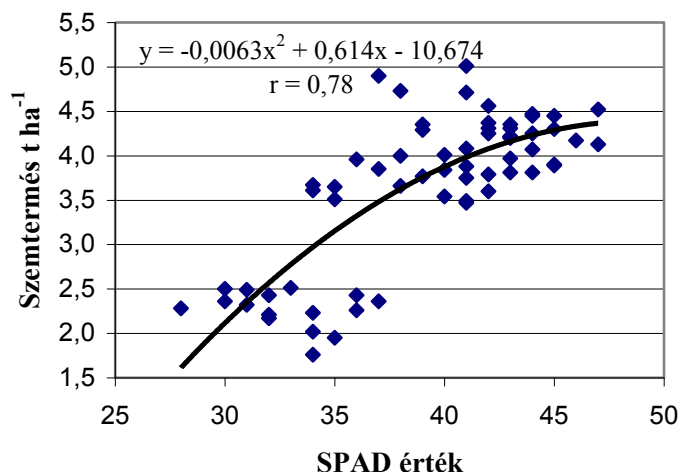
őszi árpa bokrosodáskori SPAD-értéke és a levél tényleges N %-a között szoros ($r = 0.84$), lineáris összefüggést tapasztaltunk (1. ábra). Az eredmények azt igazolják, hogy a levélzet klorofilltartalmát jellemző SPAD-értékek alkalmasak az őszi árpa N-tápláltságának megítélésére. Kísérleti körülményeink között a bokrosodáskori levél N %, a SPAD-érték és a szemtermés között szoros korrelációt tapasztaltunk. Így a bokrosodáskori kielégítő N-tápláltságot 4.0-6.0 N %, illetve 40-47 SPAD-érték között határozhatjuk meg, ahol a szemtermés 4.5 t ha^{-1} körül alakult (2., 3. ábra). Ezen határértékek alkalmasak arra, hogy a N-fejtrágyázás előtt megítéljük az őszi árpa bokrosodáskori N-ellátottságát.



1. ábra. Összefüggés a SPAD érték és az őszi árpa bokrosodáskori levél N %-a között (Szarvas, 2006)



2. ábra. Összefüggés a levél bokrosodáskori N %-a és a szemtermés között (Szarvas, 2006)



3. ábra. Összefüggés a levél bokrosodáskori SPAD-értéke és a szemtermés között (Szarvas, 2006)

Az őszi árpa N-tápláltságának megítélésére vizsgáltuk a virágzás kezdetén (Feekes 15-16) a zászlós levél N-tartalmát és SPAD-értékét. Szoros összefüggést tudtunk kimutatni a N-trágyázás szintje, a zászlós levél N-koncentrációja és SPAD-értéke között. Meghatároztuk a N-tápláltság és az őszi árpa fontosabb agronómiai tulajdonsága közötti összefüggéseket is (10. táblázat). A vizsgálatok szerint a szemtermés, a szem fehérjetartalma, a növénymagasság és a kalászhosszúság szoros pozitív összefüggést mutatott mind a zászlós levél N-koncentrációjával, mind annak SPAD-értékével. Gyengébb korrelációt tapasztaltunk már a kalásonkénti szemszám és a hektolitertömeg vonatkozásában. Kísérleti körülményeink között a virágzás kezdetén kielégítő N-tápláltságnak azt tekinthetjük, amikor a zászlós levél N %-a 4.8-5.3, SPAD-értéke 48-53 közötti.

10. táblázat. Összefüggés az őszi árpa N-tápláltsága és fontosabb agronómiai tulajdonságai között (Szarvas, 2006)

Agronómiai tulajdonságok	Zászlós levél N %-a		Zászlós levél SPAD-értéke	
	Regr.egyenlet	r-érték	Regr.egyenlet	r-érték
Szemtermés, t ha ⁻¹	$y=0.7762x-0.194$	0.90	$y=1.1342x-2.8041$	0.89
Fehérjetartalom, %	$y=1.2076x+6.8365$	0.86	$y=0.2088x+2.1709$	0.84
Szemszám, db kalász ⁻¹	$y=1.0055x+15.972$	0.50	$y=0.2021x+10.733$	0.58
Kalászhosszúság, mm	$y=0.4564x+5.5327$	0.85	$y=0.085x+3.4755$	0.90
Növénymagasság, cm	$y=0.4962x+62.348$	0.63	$y=0.0955x+59.967$	0.69

3. A kísérleti ciklus (1990-2007) N-mérlege, a NO₃-N mélységi eloszlása

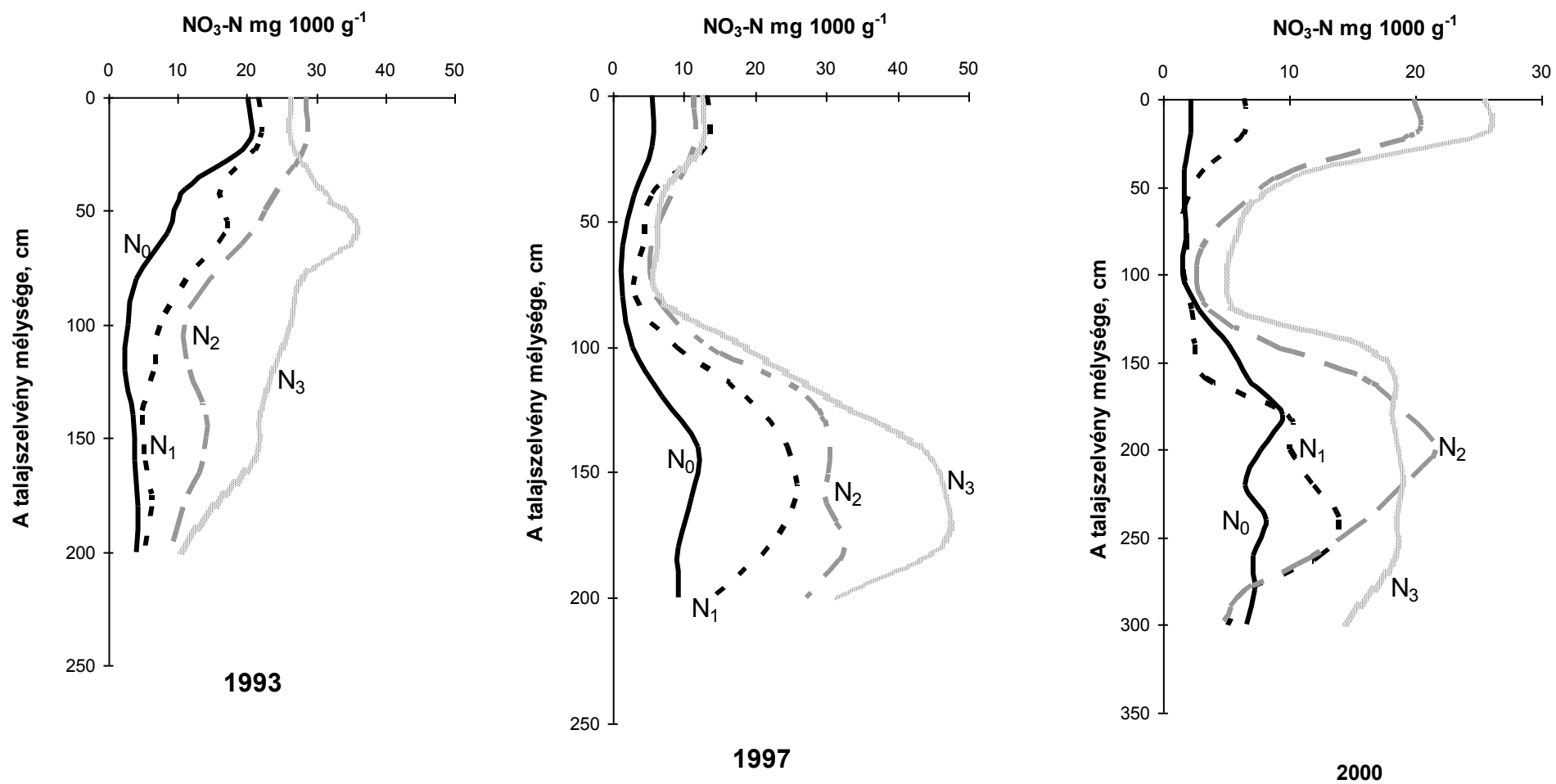
A növények N-felvételét, a kísérlet számított N-mérlegét és a NO₃-N mélységi eloszlását a talajszelvényben a 11., 12. táblázatok és a 4., 5. ábrák mutatják.

11. táblázat. A növények N-felvétele a kísérleti időszak alatt a N-ellátottság különböző szintjén (Szarvas, 1990-2007)

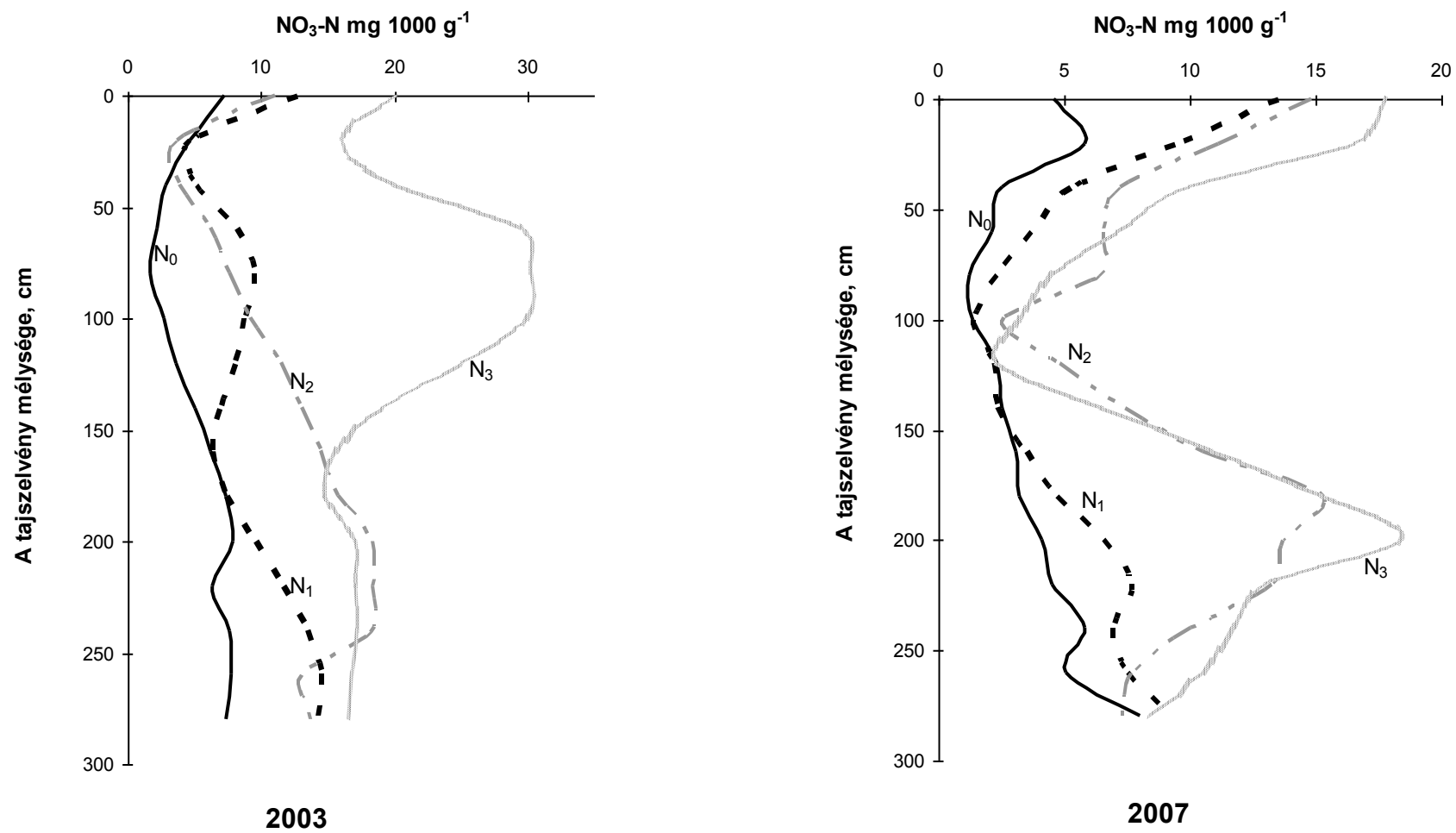
Év	Növények	N adag kg ha ⁻¹ év ⁻¹			
		0	80	160	240
1990	Cukorrépa	257	337	329	329
1991	Szója	117	177	223	257
1992	Kender	147	246	300	288
1993	Fénymag	37	37	39	32
1990-1993	-	558	797	891	906
1994	Kukorica	50	65	98	91
1995	Szója	59	71	72	69
1996	Olajlen	85	84	102	89
1997	Csupaszab	147	175	167	139
1994-1997	-	341	395	439	388
1998	Lóbab	110	133	116	143
1999	Kender	69	197	212	296
2000	Silócirok	48	73	89	73
1998-2000	-	227	403	417	512
2001	Kukorica	177	250	285	315
2002	Lóbab	175	212	216	224
2003	Kender	45	82	95	96
2001-2003	-	397	544	596	635
2004	Silócirok	274	327	338	324
2005	Kukorica	148	202	220	259
2006	Szója	211	227	222	232
2007	Kender	117	159	186	179
2004-2007	-	750	915	966	994
1990-2007	-	2273	3054	3309	3435

12. táblázat. A kísérlet számított N-mérlege
(Szarvas, 1990-2007)

A mérleg tételei	N műtrágya adag kg ha ⁻¹ év ⁻¹			
	0	80	160	240
	1993 (4. év végén) kg ha ⁻¹			
Kiadott N	-	320	640	960
Kivont N	558	797	891	906
Egyenleg	-558	-477	-251	54
Különbség a kontrollhoz viszonyítva (Egyenleg N – egyenleg N ₀)	-	81	307	612
NO ₃ -N a talajban, 0-2 m	171	270	426	655
NO ₃ -N különbség a kontrollhoz viszonyítva, 0-2 m	-	99	255	484
	1997 (8. év végén) kg ha ⁻¹			
Kiadott N	-	640	1280	1920
Kivont N	899	1192	1330	1294
Egyenleg	-899	-552	-50	626
Különbség a kontrollhoz viszonyítva (Egyenleg N – egyenleg N ₀)	-	347	849	1525
NO ₃ -N a talajban, 0-2 m	205	384	530	690
NO ₃ -N különbség a kontrollhoz viszonyítva, 0-2 m	-	179	325	485
	2000 (11. év végén) kg ha ⁻¹			
Kiadott N	-	880	1760	2640
Kivont N	1126	1595	1747	1806
Egyenleg	-1126	-715	13	834
Különbség a kontrollhoz viszonyítva (Egyenleg N – egyenleg N ₀)	-	411	1139	1960
NO ₃ -N a talajban, 0-2 m	115	117	304	359
NO ₃ -N különbség a kontrollhoz viszonyítva, 0-2 m	-	2	189	244
NO ₃ -N a talajban, 0-3 m	214	256	466	603
NO ₃ -N különbség a kontrollhoz viszonyítva, 0-3 m	-	42	252	389
	2003 (14. év végén) kg ha ⁻¹			
Kiadott N	-	1120	2240	3360
Kivont N	1523	2139	2343	2441
Egyenleg	-1523	-1019	-103	919
Különbség a kontrollhoz viszonyítva (Egyenleg N – egyenleg N ₀)	-	504	1420	2442
NO ₃ -N a talajban, 0-2 m	118	211	265	606
NO ₃ -N különbség a kontrollhoz viszonyítva, 0-2 m	-	93	147	488
NO ₃ -N a talajban, 0-3 m	221	388	493	842
NO ₃ -N különbség a kontrollhoz viszonyítva, 0-3 m	-	167	272	621
	2007 (18. év végén) kg ha ⁻¹			
Kiadott N	-	1440	2880	4320
Kivont N	2273	3054	3309	3435
Egyenleg	-2273	-1614	-429	885
Különbség a kontrollhoz viszonyítva (Egyenleg N – egyenleg N ₀)	-	659	1844	3158
NO ₃ -N a talajban, 0-2 m	76	128	235	254
NO ₃ -N különbség a kontrollhoz viszonyítva, 0-2 m	-	52	159	178
NO ₃ -N a talajban, 0-3 m	153	235	380	427
NO ₃ -N különbség a kontrollhoz viszonyítva, 0-3 m	-	82	227	274



4. ábra. A N-műtrágyázás hatása a NO₃-N mélységi eloszlására (Szarvas, 1993-2000)



5. ábra. A N-műtrágyázás hatása a NO₃-N mélységi eloszlására
(Szarvas, 2003-2007)

Az első vizsgálati ciklusban (1990-1993), amikor a forgóban cukorrépa, szója, kender és fénymag szerepelt, a növények által felvett nitrogén $558 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ volt N-trágyázás nélkül, ami a talaj jó N-szolgáltatására is utal. A 80 és $160 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ -os N-adagoknál a N-mérleg negatív, s csak a $240 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ -os ellátottságnál tapasztalható pozitív N-mérleg. Amikor a N-trágyázott parcellák mérlegét hasonlítjuk a kontroll parcellák mérlegéhez az eltérés arról ad információt, hogy a növények N-felvételét meghaladóan mennyi nitrogénnel „gazdagodott” a talaj. A 160 , $240 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ -os N-adagoknál így a talaj N-készlete elméletileg 307 és 612 kg -mal növekedett hektáronként, melyekből $\text{NO}_3\text{-N}$ formában megközelítőleg 80% -ot tudunk kimutatni a 200 cm -es talajszelvényekben.

A művelt réteg $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalma 1993 őszén viszonylag nagy volt minden kezelésben, mivel a száraz időjárás miatt a fénymag kis termésével csak $30\text{-}40 \text{ kg}$ nitrogént vett fel hektáronként. A 200 cm -es talajszelvény átlagos $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalma a kontroll kezelésben $6.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, s jelentősebb különbség 9.3 és $17.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ a 160 , $240 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ -os N-adagoknál jelentkezett. A $\text{NO}_3\text{-N}$ kimosódás a $160 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ -os N-ellátottságnál már megkezdődött és a legnagyobb N-adagnál pedig kifejezetté vált.

A második vizsgálati ciklusban (1994-1997), amikor a forgóban kukorica, szója, olajlen és csupasz zab szerepelt, a növények N-felvétele csak $341 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ volt N-trágyázás nélkül, míg a nyolc év alatti N-felvétel a $899 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ értéket érte el. A N-mérleg a $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ -os ellátottságnál negatív volt, míg $160 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ N-adagnál a mérleg megközelítőleg egyensúlyba került az $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ -os negatív értékével. A legnagyobb N-ellátottságnál a N-mérleg erősen pozitív szintre emelkedett. Ebben a vizsgálati ciklusban, amikor kisebb N-igényű növényeket is termesztünk és két száraz, kedvezőtlen csapadékeloszlású tenyészidőszak is sújtott, kicsik voltak a hozamok, és a talaj N-készlete minden N-trágyázott kezelésben növekedett. Ez $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ -os N-adagnál $347 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, míg $240 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ -os trágyaszinten már $1525 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ volt a kontrollhoz viszonyítva. Az ilyen módon számított N-készletgyarapodásból a 200 cm -es talajrétegben $\text{NO}_3\text{-N}$ formában csak 52 , 38 és 32% -ot tudunk kimutatni a növekvő N-ellátottság függvényében. Ezen értékek alacsonyabb szintje a megelőző vizsgálati ciklus 80% -os arányához képest részben azzal magyarázható – amit a $\text{NO}_3\text{-N}$ kimosódás profilja is mutat -, hogy a kimosódás zónája 200 cm -nél mélyebb volt, s a talajmintavétel mélysége nem volt elégséges.

A kísérlet nyolcadik évében a talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ eloszlását mutató görbék élesen elkülönültek a 100 cm-nél mélyebb rétegben és a $\text{NO}_3\text{-N}$ felhalmozódás profilja jól jellemezte a N-ellátottsági szinteket. A N-akkumuláció maximuma a 140-180 cm-es mélységben helyezkedett el, függetlenül a N-ellátottságtól. A N-trágyázás nélküli kezelésben is $\text{NO}_3\text{-N}$ kimosódás tapasztalható, amit a 100-200 cm-es talajréteg $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalma is mutat, melynek átlagértéke 1993-ban 3,5, míg 1997-ben 9.7 mg kg^{-1} volt. E tény rámutat arra, hogy pillangós növényt tartalmazó vetésciklusban, kis terméshozamú években, kis nitrogénigényű növények termesztésekor, amikor a növények N-felvétele kisebb, mint a talaj természetes N-szolgáltatása, N-trágyázás nélkül is számíthatunk a talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmának növekedésére és annak esetleges kimosódására. A N-trágyázott kezelések (80, 160 és 240 kg ha^{-1}) 100-200 cm-es talajrétegében az átlagos $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalom 20.9, 29.3 és 29.4 mg kg^{-1} értékre emelkedett a nyolcadik évre, ami 292, 411 és 553 kg -nak felelt meg hektáronként.

A harmadik vizsgálati ciklusban (1998-2000) lóbab, kender és silócirok termesztését követően, a tizenegyedik évben végeztük el a N-forgalmi vizsgálatokat és számításokat. Ekkor a talajt már 300 cm mélységben mintáztuk. E három éves periódus alatt N-trágyázás nélkül a növények N-felvétele 227 kg ha^{-1} volt, ami éves átlagban 76 kg ha^{-1} -nak felelt meg. A tizenegy éves kísérleti időszak alatt a növények által felvett összes N 1126 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, ami évi átlagban 102 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N-trágyázás nélkül. A N-mérleg 80 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N-adagnál negatív, 160 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ -os N-ellátottságnál lényegében egyensúlyban maradt, míg a N- túltrágyázás – 240 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ - a N-mérleg aktívumát tovább növelte. A kontrollhoz viszonyított számított N-készletgazdagodás a N-trágyázás növekvő szintjein 411, 1139 és 1960 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, melynek azonban csak 10, 22 és 20 %-át tudtuk a 300 cm-es talajrétegben $\text{NO}_3\text{-N}$ formában kimutatni. Ez a nagymértékű N-kimosódás azzal magyarázható, hogy az 1999. év rendkívül csapadékos volt (847 mm), a novemberi és decemberi csapadék mennyisége elérte a 207 mm-t, s a talajvíz késő ősztől kora tavaszig a talajfelszín közelében helyezkedett el. A 2000-es tenyészidőszak rendkívüli szárazsága alatt a talajvíz szeptember végére lehúzódott a 300 cm-es mélységre, és jelentős mennyiségű $\text{NO}_3\text{-N}$ -t mosott ki. A $\text{NO}_3\text{-N}$ mélységi eloszlását szemléltető görbék is mutatják, hogy a korábban kialakult felhalmozódási zóna eltűnt, a kezelések közötti éles különbségek elmosódtak és a $\text{NO}_3\text{-N}$ jelentős része a mélyebb talajrétegbe és a talajvízbe került.

A negyedik vizsgálati ciklusban (2001-2003), amikor a forgóban kukorica, lóbab és rostkender szerepelt, a növények N-felvétele 397 kg ha^{-1} volt N-trágyázás nélkül. A 14.

tenyészedőszak végére a növények N-felvétele a kontroll területen 1523 kg-ot ért el hektáronként, ami éves átlagban 109 kg ha⁻¹ N-szolgáltatást jelent. A N-mérleg a 80 kg ha⁻¹-os ellátottságnál jelentős (-1019 kg ha⁻¹), 160 kg ha⁻¹ N-adagnál csekély mértékű (-103 kg ha⁻¹) negatív értéket mutatott. A 240 kg ha⁻¹-os N-trágyázásnál a N-mérleg 919 kg ha⁻¹-ral volt pozitív. Ha a 14-éves ciklus kontrollhoz viszonyított N-készlet változását vizsgáljuk, akkor a talaj elméleti N gazdagodása a N-trágyázás növekvő szintjein 504, 1420, 2442 kg ha⁻¹, melynek 33, 19, 25 %-a volt NO₃-N formában kimutatható a 300 cm-es talajrétegben.

A kísérlet 14. (2003) évében a talaj NO₃-N eloszlását mutató görbék 0, 80 és 160 kg ha⁻¹ N-trágyázási szinten jelentősen nem különültek el egymástól és nem mutattak érdemi eltérést a 2000. év NO₃-N eloszlásához képest sem. Ez összefügg azzal, hogy 2001-2002-ben a kedvező terméshozamok miatt jelentős volt a növények N-felvétele, a N-trágyázástól – 0, 80, 160, 240 kg ha⁻¹ - függően 352, 462, 501 és 539 kg ha⁻¹. A 2003-as kísérleti év rendkívül száraz, aszályos volt, a nyári félév csapadékmennyisége nem érte el a 100 mm-t és az alacsony terméshozam miatt a N-trágyázott kezelésekben a N-felvétel csak 80-100 kg ha⁻¹ volt. Ez eredményezte alapvetően, hogy a 240 kg ha⁻¹-os N-trágyázás hatására a 0-100 cm talajrétegben jelentősebb N-felhalmozódás alakult ki.

Az ötödik vizsgálati ciklusban (2004-2007) silócirok, kukorica, szója és rostkender szerepelt a vetésforgóban. E kísérleti periódusban három év (2004-2006) kedvező vízellátottságú, egy év (2007) átlagos csapadék ellátottságú volt. A jobb vízellátottság kedvezett a nagyobb terméshozamoknak és N-felvételnek. Így N-trágyázás nélkül a négy év alatt a növények N-felvétele 750 kg ha⁻¹-t, éves átlagban pedig 188 kg ha⁻¹-t ért el. A N-trágyázott kezelésekben (80, 160, 240 kg ha⁻¹) pedig a N-felvétel 915, 966 és 994 kg ha⁻¹ volt. Mindezek eredményezték azt, hogy a N-trágyázás minden szintjén e négyéves ciklus N-mérlege negatív lett.

A 18 éves kísérleti időszak összevont N-mérleg adatai azt mutatják, hogy N-trágyázás nélkül a növények N-felvétele 2273 kg ha⁻¹ volt, ami éves átlagban 126 kg ha⁻¹-t jelent. A talaj N-mérlegét vizsgálva megállapítható, hogy 80 kg ha⁻¹-os N-trágyázásnál a mérleg 1614 kg ha⁻¹-ral, 160 kg ha⁻¹-os N-adagnál pedig 429 kg ha⁻¹-ral negatív. A 240 kg ha⁻¹-os N-trágyázás N-mérlege 885 kg ha⁻¹-os pozitív értéket mutatott. Összevetve a N-trágyázott és trágyázás nélküli N-mérlegeket kitűnik, hogy a talaj N-készletének elméleti gyarapodása a N-trágyázás növekvő adagja (80, 160, 240 kg ha⁻¹) rendjében 659, 1844 és 3158 kg ha⁻¹, melynek 12-12-9

%-a volt $\text{NO}_3\text{-N}$ formában kimutatható a 300 cm-es talajrétegben. A 18 éves kísérleti időszakban a növények átlagos N-felvétele a N-trágyázás 80, 160 és 240 kg ha^{-1} -os szintjén 170, 184 és 191 kg ha^{-1} volt. Ha a N-trágyázás nélküli talaj átlagos 126 kg ha^{-1} -os N-szolgáltatását vesszük figyelembe, akkor a 80 kg ha^{-1} -os N-adaggal a talaj N-szolgáltatása 206 kg ha^{-1} , ami meghaladja a 160, 240 kg ha^{-1} N-ellátottságnál elért növényi N-felvételi értékeket. Ez arra utal, hogy sok év átlagában e jó N-szolgáltatású talajon a 80 kg ha^{-1} -os N-trágyázás a növények N-trágyaigényét kielégíti. Mindezt a terméshozam vizsgálatok is alátámasztották, mert a 80 kg ha^{-1} -os N-trágyázáshoz képest a 160, 240 kg ha^{-1} -os N-trágyázás egyik évben sem eredményezett szignifikáns terméshozam növekedést.

A kísérlet 14. és 18. évi talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma vizsgálatának eredményeit összehasonlítjuk, akkor kimutatható, hogy a 18. évre a teljes talajszelvény $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma csökkent. A $\text{NO}_3\text{-N}$ mélységi eloszlását szemléltető görbék kismértékben elkülönülnek a N-trágyázástól függően, de a fentiekben leírtak szerint jelentős $\text{NO}_3\text{-N}$ felhalmozódás nem alakult ki.

4. A talaj ásványi N-tartalmának ($\text{NO}_3\text{-N}$) mérésén alapuló N-trágyaszükséglet számítási módszer adaptálása csernozjom réti talajra

A kukorica és kender tavaszi N-trágyaigényének számítása:

$$N_{\text{tri}} = a - N_{\text{nitrat}}$$

ahol: N_{tri} = a növény N-trágyaigénye, N-hatóanyag kg ha^{-1}
 „a” érték = kísérleti úton megállapított talajtól, növénytől és környezettől függő érték (13., 14. táblázat)
 N_{nitrat} = a talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalma a 0-60 cm-es talajrétegben kg ha^{-1}

13. táblázat. A kukorica N-trágyaigény számításának „a” paraméterei

Humusz %	Tervezett termés t ha^{-1}						
	5	6	7	8	9	10	12
2,0-2,5	115	140	165	190	215	240	290
2,5-3,0	100	125	150	175	200	225	275
3,0-3,5	85	110	135	160	185	210	260
3,5-4,0	70	95	120	145	170	195	245

14. táblázat. A kender N-trágyaigény számításának „a” paraméterei

Humusz %	Tervezett termés t ha ⁻¹ szárazanyag						
	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24
1.5-2.0	100	120	140	160	180	200	220
2.1-2.5	85	105	125	145	165	185	205
2.6-3.0	70	90	110	130	150	170	190
3.0<	55	75	95	115	135	155	175