

N-műtrágyázás hatása a szója levelének klorofill- és karotinoid-tartalmára, valamint hozamára

MÁRTON LÁSZLÓ és KÁDÁR IMRE

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

Bevezetés

A zöld növények legfontosabb fotoszintetikus pigmentjei (színezékei, színtestecskei) között említendő a klorofill és a karotinoidok. A növényre jutó fény egy részét ezek a sejtalkotók nyelik el, ill. hasznosítják a fotoszintézis során. Fény hatására képződnek a növény sejtjeiben, működésük meghatározó a CO_2 asszimilációjában, vagyis a termésképzésben. Ismert, hogy az ásványi tápelemek hiánya is gátolhatja képződésüket a klorózis jelenségén keresztül. Optikai tulajdonságaik a kémiai szerkezetükkel van összefüggésben. A klorofill építőköve a nitrogént és magnéziumot is tartalmazó pirollgyűrű. A klorofill-a ($\text{C}_{55}\text{H}_{72}\text{O}_5\text{N}_4\text{Mg}$) és a klorofill-b ($\text{C}_{55}\text{H}_{70}\text{O}_6\text{N}_4\text{Mg}$) apró szerkezeti módosulásokban különböznek, mely tükröződik színükben és abszorpciós spektrumaikban.

A két klorofill forma felfedezését a kromatográfiás módszer kidolgozása tette lehetővé (CVET, 1910). A klorofill gyengén kötődik a fehérjéhez, attól könnyen elválasztható. Alkohol, aceton vagy éter oldja a pigmentet, míg a fehérjét kicsapja. Az oldott színezék keményítő- vagy cukoroszlopon kékeszöld klorofill-a, sárgászöld klorofill-b és xantofil, ill. sárga karotinoid összetevőkre bontható, melyek együtt fordulnak elő és más-más hullámhosszúságú fényt abszorbeálnak. A szelektív fényelnyelés jelenségére már 1882-ben Engelmann felhívta a figyelmet klasszikus kísérletével.

A klorofill, mint a sejt plazma zöld szemcséinek, a kloroplasztiszoknak pigmentanyaga, az elnyelt fényenergiát továbbítja a vízbontó és CO_2 -asszimiláló rendszerhez. Oldata áteső fényben zöld, ráeső fényben vörösen fluoreszkál. Szelektíven főként a vörös és kék fényt nyeli el. Kémiai természete alapján rokon az állati és emberi vér pigmentjével (hemin, hemoglobin), kapocs az élővilág között. Darwin szerint „a klorofill a legfigyelemreméltóbb szerves anyag, amit a természet alkotott”. A klorofillal kapcsolatos alapvető fizikai-kémiai vizsgálatok jórészt szintén a nagy orosz biokémikus CVET (1906) nevéhez fűződnek. A hazai agronómiai irodalomban megemlíthető IHÁSZ (1960) munkája, aki a Keszthelyi Mezőgazdasági Akadémia Kémia-Talajtani Tanszékén számos,

gyakrabban előforduló pázsitfű és hereféle karotintartalmát határozta meg és értékelte extrakciós–kromatográfias módszerrel. Újabban IZSÁKI (1999) vizsgálta a N- és P-ellátottság hatását a szója néhány minőségi jellemzőjére.

A karotinoidok elnevezés a pigmentek egy csoportjának gyűjtőneve. Alapvető alkotója a karotin ($C_{40}H_{56}$), mely egy szénhidrogén-vegyület. Elnyeli a klorofill által nem hasznosított spektrumot, gerjesztett állapotba kerül, majd a gerjesztési energiát adja át a klorofillnak. A képletéből kiolvasható, hogy olyan hosszú láncú vegyület, melynek konjugált kettős kötéseiben csupán C-atomok vesznek részt. Az újabb kutatások szerint a karotinoidok nemcsak a fotoszintézist segítik a fény abszorpciójával és a fényenergia szállításával, hanem a klorofill oxidatív károsodása ellen is védelmet nyújtanak. Azon túl, hogy általános antioxidánsok, védőanyagok, vitamin forrásul is szolgálnak, mint az A-vitamin provitaminja.

A pigmentek mennyisége, egymáshoz viszonyított aránya növényenként és a termesztési körülményektől függően eltérhet. Magasabb rendű növényfajokban a klorofill-a jelenléte meghatározó, ebből képződhet a klorofill-b pigment a bioszintézis során. Szabadföldi liziméteres kísérletünkben 3 éven át figyelemmel kísértük a szójalomb klorofill- és karotinoid-tartalmának és hozamaiknak alakulását a N-műtrágyázás függvényében. Összefüggést kerestünk a N-ellátás, a pigmentképződés és a termés között, valamint az egyes pigmentek arányának változását a kezelések és az évek függvényében, mivel hasonló adatokkal a hazai kutatás még adós maradt a szója esetében.

Anyag és módszer

1986 tavaszán kukorica elővetemény után, szója jelzőnövényvel liziméteres N-műtrágyázási kísérletet állítottunk be a keszthelyi Pannon Agrártudományi Egyetem kísérleti telepén. A fajta a lombohullató jellegű, korai érésű McCall volt. A liziméterkádak egyenként 4 m^3 talajtérfogattal és 4 m^2 szabad termőfelülettel rendelkeztek. A kísérlet Ramann-féle homokos vályog barna erdőtalajának jellemzői az alábbiak voltak: $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 7,2; $\text{pH}(\text{KCl})$ 7,0; CaCO_3 2,1 %; humusz 1,3 %; $\text{AL-P}_2\text{O}_5$ 80 ppm, $\text{AL-K}_2\text{O}$ 100 ppm. A szántott réteg leiszapolható része mintegy 28 %-ot tett ki. A beállításkor a kísérlet talaja meszes, közepesen humuszos, felvehető foszfor- és káliumtartalmát tekintve gyengén ellátottnak minősült. Az alapozó műtrágyázást 1985 őszén végeztük $100\text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$ és $120\text{ kg K}_2\text{O}/\text{ha}$ adaggal, 18 %-os szuperfoszfát és 60 %-os kálisó formájában. A N-műtrágyát NH_4NO_3 -ként adtuk kádanként kézzel kiszórva és ásóval 25 cm-re beforgatva. Az első évben 0, 40, 80 és $120\text{ kg}/\text{ha}$ volt a N-adag. Mivel a N-görbe leszálló ágát nem értük el, 1987. és 1988. években 0, 100, 150 és $200\text{ kg}/\text{ha}$ N-szinteket alkalmaztunk.

A 4 kezelést 3 ismétlésben állítottuk be az egymástól 20–20 cm távolságban sorban elhelyezett kádakban. A magvakat mindhárom évben április 15-én 40 cm sortávolságra vetettük, kádanként 4 sor \times 2 fm tenyészterülettel, fm-enként 35–40 maggal. A tőszámot 200 db növény/kád mennyiségben határoztuk

meg, amely megfelel az üzemben szokásos 500 ezer db/ha növényállománynak. A vízellátás a szántóföldi vízkapacitás 70 %-át jelentette. A növényállományok jól beállottak voltak és egységesen fejlődtek. Talajoltást vagy előzetes magkezelést nem végeztünk. A betakarítások 1986-ban augusztus 28-án, 1987-ben és 1988-ban szeptember 2-án történtek, tehát a tenyészidőszakok 135 és 140-140 napokat tettek ki.

Virágzás kezdetén és terméskötéskor mintát vettünk reggel hét órakor, közel azonos hőmérséklet, páratartalom és megvilágítás mellett, kádanként 6-6 átlagos növényt kinyűve a gyökér, szár, lomb tömegének és a levelek klorofill-(a,b) és karotinoid-tartalmának vizsgálatára. Betakarítás előtt a liziméterek vízellátását zártuk és mértük a növények főgyökér-, szár- és hüvelytermését. Analízis céljára a gyökér, hüvely, szár és a cséplés utáni mag szolgált. A kiegészítő virágzaskori és terméskötéskori mintavételekkel becsülhettük a lomb súlyát és elemtartalmát, aratás idejére ugyanis a lomb lehullott, csak a főgyökér, lombtalan szár és a szemes hüvely volt elkülöníthető. A betakarításkori növényszám 188 db volt kádanként.

A levélminták klorofill-a-, klorofill-b- és karotinoid-tartalmát spektrofotometriás módszerrel határoztuk meg a Pannon Agrártudományi Egyetem Növénytermesztéstan Tanszékének laboratóriumában. Az acetonos és éteres kioldás után mértük a minták extinkcióját a klorofill-a-600 nm, klorofill-b-640 nm és a karotinoidok-440 nm adszorpciós maximumán. A mért extinkciós értékek friss súlyra való átszámítását az alábbi képlettel végeztük:

$$\text{Pigment koncentráció, mg/g} = \frac{\text{extinkció} \times \text{faktor}}{\text{bemért friss súly/g}}$$

Adszorpciós faktor:	klorofill-a	= 0,189
	klorofill-b	= 0,0981
	karotinoidok	= 0,0371

A kísérlet részletes módszerét, a talajvizsgálatok és a termés, valamint a N-forgalom eredményeit, a szója tápelemfelvételét kezelésenként a korábbi munkáinkban tárgyaltuk (MÁRTON et al., 1990; KÁDÁR & MÁRTON, 1999).

Eredmények és következtetések

Steril talajon oltás nélkül a szója termését a N-ellátás szabályozta. Korábbi vizsgálataink szerint a N %-ok alacsonyok maradtak az egyes növényi részekben, ill. megfelelő N-bőség nem állt elő a kísérlet első évében. A későbbi években a N-műtrágya adagjait növeltük, és részben a talaj sterilítása is megszűnt, így a növények N-tartalma megnőtt, sőt a N-túlsúly is bekövetkezett, termés-csökkenést okozva a legnagyobb adagú kezelésben.

1. táblázat

N-műtrágyázás hatása a szója termésére, a szójalevél klorofill- és karotinoid-tartalmára, valamint -hozamára (Liziméteres kísérlet, Ramann-féle homokos vályog talaj, Keszthely, 1986–1988)

(1) N-ke- zelés kg/ha h. a.	(2) Zöld lomb- termés t/ha	(3) Friss súly, mg/g*			(6) Hozam, kg/ha*			(7) Mag- ter- més t/ha
		(4) klorofill-		(5) karoti- noidok	(4) klorofill-		(5) karoti- noidok	
		a	b		a	b		
1986								
0	17,5	1,2	0,09	0,09	21,0	1,6	1,6	1,8
40	28,2	1,4	0,12	0,11	39,5	3,4	3,1	2,1
80	36,0	2,1	0,17	0,12	75,6	6,1	4,3	2,7
120	33,6	2,1	0,17	0,11	70,6	5,7	3,7	3,0
a) SzD _{5%}	7,1	1,7	0,13	0,08	12,4	0,9	0,6	0,7
b) Átlag	28,8	1,7	0,14	0,11	49,0	4,0	3,2	2,4
1987								
0	32,4	2,9	0,25	0,24	94,0	8,1	7,8	2,7
100	45,6	4,4	0,30	0,27	200,6	13,7	12,3	3,8
150	64,8	2,5	0,17	0,15	162,0	11,0	9,7	5,4
200	49,2	3,0	0,20	0,20	147,6	9,8	9,8	4,1
a) SzD _{5%}	22,8	2,6	0,09	0,10	59,3	2,0	2,3	1,9
b) Átlag	48,0	3,2	0,23	0,22	153,6	11,0	10,6	4,0
1988								
0	37,2	1,8	0,27	0,34	67,0	10,0	12,6	3,1
100	43,2	2,3	0,23	0,36	99,4	9,9	15,6	3,6
150	52,8	2,3	0,41	0,52	121,4	21,6	27,5	4,4
200	50,4	0,8	0,12	0,23	40,3	6,0	11,6	4,2
a) SzD _{5%}	6,0	1,4	0,34	0,38	8,4	2,0	2,3	0,5
b) Átlag	45,6	1,8	0,26	0,36	82,1	11,9	16,4	3,8
A. 1987. és 1988. évek átlagában								
0	34,8	2,4	0,26	0,29	81,8	10,0	10,1	2,9
100	44,4	3,4	0,26	0,31	148,7	11,5	13,8	3,7
150	58,8	2,4	0,29	0,34	141,1	17,0	20,0	4,9
200	49,8	1,9	0,16	0,22	94,6	8,0	11,0	4,2
a) SzD _{5%}	14,4	2,0	0,21	0,24	28,8	3,0	3,5	1,2
b) Átlag	46,8	2,5	0,25	0,29	117	11,7	13,6	3,9

* Terméskötéskor: 1986. július 29-én, 1987. augusztus 13-án, 1988. július 29-én

Amint az 1. táblázatban megfigyelhető, 1986-ban N-műtrágyázással a lombtermés mintegy a duplájára emelkedett és a magtermés is elérte a 3 t/ha mennyiséget. Tendenciájában igazolhatóan nőtt a klorofill koncentrációja, míg a klorofill és a karotinoidok ha-onkénti hozama már látványosan 2–3-szoros többleteket mutatott a növekvő termésekhez igazodva, terméskötés idején. A pigmentek átlagos koncentrációja azonban alacsony maradt. Közismert, hogy a sárgarépa gyökere különösen gazdag karotinoidokban. Összehasonlításképpen megemlítjük, hogy egyik sárgarépa-kísérletünkben a gyökér betakarításkor 80–140 mg/kg összes karotinoid-tartalommal rendelkezett (BIACS et al., 1995), azaz átlagosan 0,1 mg/g körüli értéket mutatott.

A kísérlet 2. évében, 1987-ben már megfigyelhető a N-túlsúly a 200 kg/ha N-terhelésnél, ahol a magtermés is csökkenő tendenciát mutatott. Nőtt a trágyázatlan kontrolltalaj termése a szója légköri N-kötése nyomán és a 150 kg/ha kezelésben a magtermés 5,4 t/ha mennyiséget ért el. Ezzel együtt átlagosan megkétszereződött a pigmentek koncentrációja a terméskötéskori lombtermésben és az átlagos ha-onkénti hozamuk megháromszorozódott az első évhez viszonyítva. A klorofill-b és a karotinoidok koncentrációja és hozama azonban bizonyíthatóan csökkent a N-túlsúly eredményeképpen. A zöld lombtermés és az aratáskori magtermés szintén jelzi a káros túlsúlyt, bár csak tendenciájában és kevésbé érzékenyen (1. táblázat).

A kísérlet 3. évében, 1988-ban tovább nőtt a trágyázatlan kontrolltalaj termése, ill. csökkentek a N-trágyázás hatására kapott terméstöbbletek. Ezzel együtt drasztikusabban nyilvánult meg a pigmentek koncentrációcsökkenése a N-túltrágyázással összefüggésben. Mivel a lombtermés is mérséklődött, a klorofill-a hozam 1/3-ára, a klorofill-b 1/4-ére, a karotinoidok ha-onkénti hozama pedig az elért maximális 28 kg-ról 11-kg-ra zuhant. Az említett depressziók ebben az évben már erősen szignifikánsak, kifejezettebbek (1. táblázat).

A N-túltrágyázás tehát nemcsak gazdaságtalan és a talajt, talajvizet szennyezheti, hanem olyan növényi minőségi összetevőket is érzékenyen és károsan érinthet, mint a klorofill- és karotinoid-tartalom és azok ha-onkénti hozama. Az 1. táblázatban összevontan tüntettük fel az 1987. és 1988. évek adatait (amikor is mindkét évben a N-túlsúly kifejezetté vált), hogy a kísérleti adatokat, tendenciákat megbízhatóbban jellemezhesük. Az eredményekből látható, hogy mind a klorofill-, mind a karotinoid-koncentráció lecsökken a káros N-túlsúllyal, a ha-onkénti hozamaik maximumai az évenkénti 150 kg N/ha adagnál jelentkeztek ezen a talajon és ezekben az években.

Amennyiben az évhatásokat, illetve a stabilabb éves átlagokat elemezzük megállapítható, hogy a maximális klorofill-a-koncentráció 1987-ben, a klorofill-b és karotinoid maximumok pedig 1988-ban mérhetőek. Úgy tűnik a klorofill-a növekvő mértékben alakulhatott át klorofill-b formává az évek során, mert a klorofill-a/klorofill-b formák aránya 17-ről 6-ra szűkült. Hasonló mérvű változásokat mutatott a klorofill-a/karotinoidok aránya is. Az adatokat a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat

A vizsgált pigmentek koncentrációjának egymáshoz viszonyított aránya és a szemtermés kapcsolata az évek átlagában

(1) Vizsgált évek	(2) Klorofill, mg/g			(3) Karoti- noid, mg/g	(4) Klorofill-a/ Karotinoid	(5) Magter- més, t/ha
	a	b	a/b			
1986	1,7	0,1	17	0,1	17	2,4
1987	3,2	0,2	16	0,2	16	4,0
1988	1,8	0,3	6	0,4	4	3,8
a) Átlag	2,2	0,2	11	0,2	10	3,4

Összefoglalás

Ramann-féle barna erdőtalajon liziméteres kísérletben vizsgáltuk a szója levelének klorofill- és karotinoid-tartalmát és hozamait a N-műtrágyázás függvényében. A kísérleti talaj enyhén meszes volt, a szántott rétegében 1,3 % humuszt tartalmazott és a főbb tápelemekkel viszonylag gyengén ellátottnak minősült. A liziméterek talajtérfogata 4 m³, termőfelülete 4 m² volt. A 4 N-kezelést 3 ismétlésben állítottuk be 12 kád felhasználásával. Alaptrágyaként évente 100 P₂O₅/ha és 120 kg K₂O/ha műtrágyát adagoltunk szuperfoszfát és kálisó formájában. A N-kezelések 0, 40, 80 és 120 kg N/ha-t jelentettek az első évben, míg 0, 100, 150 és 200 kg/ha N-adagot a 2. és 3. évben NH₄NO₃ formájában. Az oltás nélkül vetett szója tőszámát 500 ezer db/ha mennyiségre állítottuk be. A terméskötés kori lombban évente meghatároztuk a klorofill-a és klorofill-b, valamint a karotinoidok mennyiségét. Főbb eredményeinket az alábbiakban foglaljuk össze:

1. Az első évben nem alakult ki N-bővség a kísérletben, így a pigmentek átlagos koncentrációja és ha-onkénti hozama is alacsony maradt. A zöld lomb- és az aratáskori magtermést a N-adagok megduplázták, így a pigmentek ha-onkénti hozama is 2–3-szorosára nőtt a terméskötés idején.

2. Amint az évekkel nőtt a trágyázatlan kontroll termése, ill. a talaj elvesztette sterilitását és kialakult a káros N-túlsúly, kifejezettebbé és drasztikusabbá vált a pigmenttartalom csökkenése a túltrágyázással összefüggésben a 200 kg N/ha/év kezelésben.

3. Az átlagos klorofill-a-tartalom közel megkétszereződött a kísérlet 2. évében, míg az átlagos klorofill-b koncentrációja megháromszorozódott, ill. a karotinoid-koncentráció 4-szeresére nőtt a 3. évben. A pigmentek egymáshoz viszonyított aránya változott az évekkel: a klorofill-a túlsúlya a klorofill-b és karotinoid formákhoz képest 17-ről 4–6-ra szűkült.

4. A kísérletben elért maximális zöld lombtermés kereken 65 t/ha, a magtermés 5,4 t/ha, míg a klorofill-a hozama 200 kg/ha, klorofill-b 25 kg/ha, a karotinoidok hozama 28 kg/ha mennyiségeket tett ki.

Irodalom

- BIACS, P., DAOOD, H. G. & KÁDÁR, I., 1995. Effect of Mo, Se, Zn and Cr treatments on the yield, element concentration and carotenoid content of carrot. *J. Agric. Food. Chem.* **43**, 589–591.
- CVET, M., 1906. Physikalisch-chemische Studien über das Chlorophyll. Die Adsorptionen. *Ber. Deutsch. Botan. Gesellschaft.* **25**, 316–324.
- CVET, M., 1910. Hromofilü v mire raszténij I zsvotnüh. Warszawa.
- IHÁSZ I., 1960. Gyakrabban előforduló pázsitfűvek és herefélék karotintartalmának meghatározása és értékelése. *Agrokémia és Talajtan.* **9**, 559–574.
- IZSÁKI Z., 1999. A nitrogén- és foszforellátottság hatása néhány szántóföldi kultúra fehérjetartalmára és aminosav-összetételére. In: *Növénytermesztés és környezetvédelem.* (Szerk.: RUZSÁNYI L. & PEPÓ P.) 92–96. MTA Agrártud. Osztálya. Budapest.
- KÁDÁR I. & MÁRTON L., 1999. A szója ásványi tápelemforgalma. *Agrokémia és Talajtan.* **48**, 67–82.
- MÁRTON L., KISMÁNYOKY T. & KÁDÁR I., 1990. A szója N-ellátottságának és N-forgalmának vizsgálata liziméterekben. *Növénytermelés.* **39**, 55–64.

Érkezett: 1998. október 15.

Effect of N Fertilization on the Chlorophyll and Carotenoid Contents and Yields of Soya Leaves

L. MÁRTON and I. KÁDÁR

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest

Summary

In a lysimeter experiment set up on Ramann brown forest soil the chlorophyll and carotenoid contents and yields of soya leaves were studied as a function of N fertilization. The experimental soil was slightly calcareous, containing 1.3% humus in the ploughed layer, but being rather poorly supplied with the major nutrients. The lysimeters had a soil volume of 4 m³ and a growing surface of 4 m². Four N treatments were set up in 3 replications using 12 lysimeters. Basic fertilization was carried out with 100 kg P₂O₅/ha and 120 kg K₂O/ha each year, in the form of superphosphate and potassium chloride. The N treatments were 0, 40, 80 and 120 kg N/ha in the first year and 0, 100, 150 and 200 kg N/ha in the 2nd and 3rd years, in the form of NH₄NO₃. The plant density of the non-inoculated soya was 500 thousand plants/ha. Each year the quantities of chlorophyll-a, chlorophyll-b and carotenoids were recorded in the foliage at seed setting. The major results can be summarized as follows:

- In the first year no N excess was observed in the experiment, so the mean pigment concentrations and yield per hectare remained low. The green foliage and the seed yield at harvest were doubled by the N rates, so the pigment yield per hectare also doubled or tripled at seed setting.

- As the yield of the unfertilized control plot rose over the years, as the soil lost its sterility and a dangerous N excess developed, the reduction in pigment content became more pronounced and drastic due to overfertilization in the 200 kg N/ha/year treatment.

- The mean chlorophyll-a content almost doubled in the 2nd year of the experiment, while the mean chlorophyll-b concentration tripled and the carotenoid concentration increased four times in the 3rd year. The mutual ratio of the pigments changed over the years: the surplus of chlorophyll-a compared to the chlorophyll-b and carotenoid forms dropped from 17 to 4-6.

- The maximum green leaf yield obtained in the experiment was around 65 t/ha, with a seed yield of 5.4 t/ha, while there was a yield of 200 kg/ha chlorophyll-a, 25 kg/ha chlorophyll-b and 28 kg/ha carotenoids.

Table 1. Effect of N fertilization on the soya yield and on the chlorophyll and carotenoid contents and yields of soya leaves. (Lysimeter experiment, Ramann brown forest soil, Keszthely, 1986-1988). (1) N treatment, kg/ha. a) LSD_{5%}; b) Mean. (2) Green foliage yield, t/ha. (3) Fresh weight, mg/g. (4) Chlorophyll-a, -b. (5) Carotenoids. (6) Yield, kg/ha. (7) Seed yield, t/ha. A. Averaged over 1987 and 1988. *At seed setting.

Table 2. Relationship between the mutual ratios of pigment concentrations and the grain yield averaged over the years. (1) Years examined. a) Mean. (2) Chlorophyll, mg/g. (3) Carotenoid, mg/g. (4) Chlorophyll-a/Carotenoid. (5) Seed yield, t/ha.