

HIPERSPEKTRÁLIS REFLEXIÓS MÉRÉSTECHNIKA LEHETSÉGES ALKALMAZÁSA PARADICSOM MAKROELEM ELLÁTOTTSÁGÁNAK JELLEMZÉSÉRE

POSSIBLE APPLICATION OF HYPERSPECTRAL REFLECTANCE MEASUREMENT TECHNIQUE TO CHARACTERIZE MACRONUTRIENT SUPPLY IN TOMATOES

Várad Gyula^{1*}, Pető Judit², Virág Barbara³, Kiss Dominik⁴, Hüvely Attila⁵

¹ Agrártudományi Tanszék, Kertészeti és Vidékfejlesztési Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország,
<https://orcid.org/0000-0002-7918-5524>

³ Agrártudományi Tanszék, Kertészeti és Vidékfejlesztési Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország,
<https://orcid.org/0000-0002-5904-7538>

⁴ Agrártudományi Tanszék, Kertészeti és Vidékfejlesztési Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország,
<https://orcid.org/0009-0003-4492-3843>

⁵ Agrártudományi Tanszék, Kertészeti és Vidékfejlesztési Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország,
<https://orcid.org/0009-0005-2625-2139>

² Agrártudományi Tanszék, Kertészeti és Vidékfejlesztési Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország,
<https://orcid.org/0000-0002-1498-2610>
<https://doi.org/10.47833/2026.1.AGR.006>

Kulcsszavak:

ipari paradicsom
hiperspektrális reflexió
tápelem ellátottság
levél makroelem tartalom
normalizált index

Keywords:

processing tomato
hyperspectral reflectance
nutrient supply
leaf macroelement content
normalized index

Cikktörténet:

Beérkezett 2026. január 14.
Átdolgozva 2026. február 16.
Elfogadva 2026. február 24.

Összefoglalás

Az ipari paradicsom termesztésének egyik legfontosabb tényezője a megfelelő N-ellátás, különösen a vegetációs időszak korai szakaszában (virágzás és terméskötődés), de további makroelemek (K, P, Ca, Mg) megfelelő jelenléte úgyszintén elengedhetetlen. A spektrális technikák gyors fejlődése és a nagy teljesítményű, mesterséges intelligenciát is alkalmazó adatkiértékelő rendszerek alkalmazása lehetővé teszi, hogy a levél makroelem-ellátottságának értékeléséhez megfelelő hullámhosszakot találjunk a hiperspektrális spektrumban. Előzetes tanulmányunkban összefüggéseket tártunk fel a makroelem tartalom és a számított, normalizált index között.

Abstract

One of the most important parameters in the cultivation of processing tomatoes is the adequate N supply, especially in the early stages of the vegetation period (flowering and fruit setting), but the adequate presence of other macroelements (K, P, Ca, Mg) is also essential. The rapid development of spectral techniques and the use of high-performance data evaluation systems, also using artificial intelligence, make it possible to find appropriate wavelengths in the hyperspectral spectra for the assessment of the macroelement supply of the leaf. In our preliminary study, we explored correlations between macronutrient content and the calculated, normalized index.

* Kapcsolattartó szerző.
E-mail cím: varadi.gy.a@gmail.com

1. Bevezetés

A tápanyagkoncentráció a növény szöveteiben, különösen a levelekben, közvetlenül befolyásolja az anyag- és energiacsere folyamatokat, beleértve a fotoszintézist, a párologást és a légzést. Következésképpen a levéltápanyag-koncentráció értékelése elengedhetetlen a növénytáplálás szükségleteinek megértéséhez, a műtrágyázás megtervezéséhez és a fenntartható növénytermesztés gazdasági megtérülésének optimalizálásához, a termelékenység maximalizálásával és az erőforrás-ráfordítások minimalizálásával.

Az ipari paradicsom termesztése során az egyik legfontosabb feladat a megfelelő N-ellátás, különösen a vegetációs időszak korai szakaszában és a beltartalmat tekintve nagyon fontos a további makroelemek (P, K, Ca, Mg) megfelelő jelenléte is. A növénynövekedés kritikus szakaszaiban elengedhetetlen, hogy azonnali információkat kapjunk a paradicsom makroelem-ellátottságáról, illetve a makroelem arányokról, hogy azonnali lépéseket tegyünk az optimális növényállomány elérése érdekében (1. ábra).



1. ábra. Ipari paradicsom az ültetés után kb. 4 héttel, a virágzás kezdetekor, a legintenzívebb tápelemfelvételi időszakban, Kecskeméten.

A hagyományos laboratóriumi előkészítési és detektálási technikák drágák és szakképzett személyzetet igényelnek, ráadásul idő- és munkaigényesek ahhoz, hogy a termelő kellő időben és hatékonyan beavatkozzon az optimális makroelem-ellátás megvalósításába. Ezért folyamatosan növekszik az igény a gyors, roncsolásmentes módszerekre, a növény tápelem-ellátottságának értékelésére. A spektrális technikák gyors fejlődése és a nagy teljesítményű, mesterséges intelligenciát is alkalmazó adatkiértékelő rendszerek alkalmazása lehetővé teszi, hogy a levél makroelem-ellátottságának értékeléséhez megfelelő hullámhosszokat találjunk. Munkánk során ún. normalizált differencia indexek képzéséhez makroelemenként kerestünk optimális hullámhossz párokat [1] [2] [3] [4] [5] [6].

2. Anyag és módszer

Üzemi táblákon termesztett ipari paradicsom kifejlett levéllemezét mintáztuk 2025. június 12. és 25. között. A minták két vármegye 4 különböző településéről, vagyis lényegesen eltérő termőhelyekről származtak, üzemi ipari paradicsom táblákról. A termőhelyek talajtípusai: humuszos homoktalaj, réti csernozjom és csernozjom réti talajok. A fajták nagy hozamú, középkésői érésű, ipari paradicsom fajták voltak, több nemesítőháztól. A komplett mintakészlet 30 mintából állt, mintánként 40 db vizsgált levéllemezzel, virágzás és bogyóképzés kezdete fejlődési fázisban. A reflexiós spektrumokat CI-710s SpectraVue levélspektrométerrel (CID Bio-Science, USA) rögzítettük, 380-1100 nm tartományban (2. és 3. ábra). A minták összes tápelem (Kj-N, P, K, Ca és Mg) tartalmát nedves roncsolást követően Kjeldahl és ICP-OES módszerrel, mint referencia módszerekkel határoztuk meg, a Neumann János Egyetem akkreditált Talaj- és Növényvizsgáló Laboratóriumában (NAH-1-1548/2024).

A mintakészlet N-tartalom tartománya 3.80-5.24 m/m %, a K-tartalom a 1.57-2.75 m/m %, a P-tartalom a 0.24-0.52 m/m %, a Ca-tartalom a 2.70-5.33 m/m %, míg a Mg-tartalom a 0.35-1.02 m/m % szárazanyag tartalom között volt.

A hyperspektrális reflexiós spektrumokat 0.6 nm-es lépésközzel, levéllemezenként 10 ismétlésben vettük fel, az itt releváns 400-900 nm tartományban. A felvett reflexiós értékekből, az összes lehetséges hullámhossz párból képzett normalizált differencia indexek (NDI) és a minták makroelem tartalma közötti korrelációt vizsgáltuk, a legszorosabb korrelációt keresve (Pearson korreláció [7]). Az adatok statisztikai elemzését Python programozási nyelven és a következő könyvtárak felhasználásával végeztük: pandas, sklearn, lotly és scipy.

A normalizált differencia index képlete a következő:

$$\text{NDI} = \frac{R_{\lambda_1} - R_{\lambda_2}}{R_{\lambda_1} + R_{\lambda_2}}$$

ahol: R_{λ_1} és R_{λ_2} az adott hullámhossz párnál mért reflexió értékek.



2. ábra. Frissen gyűjtött levélminták terepi felvételezése a levélspektrométerrel.



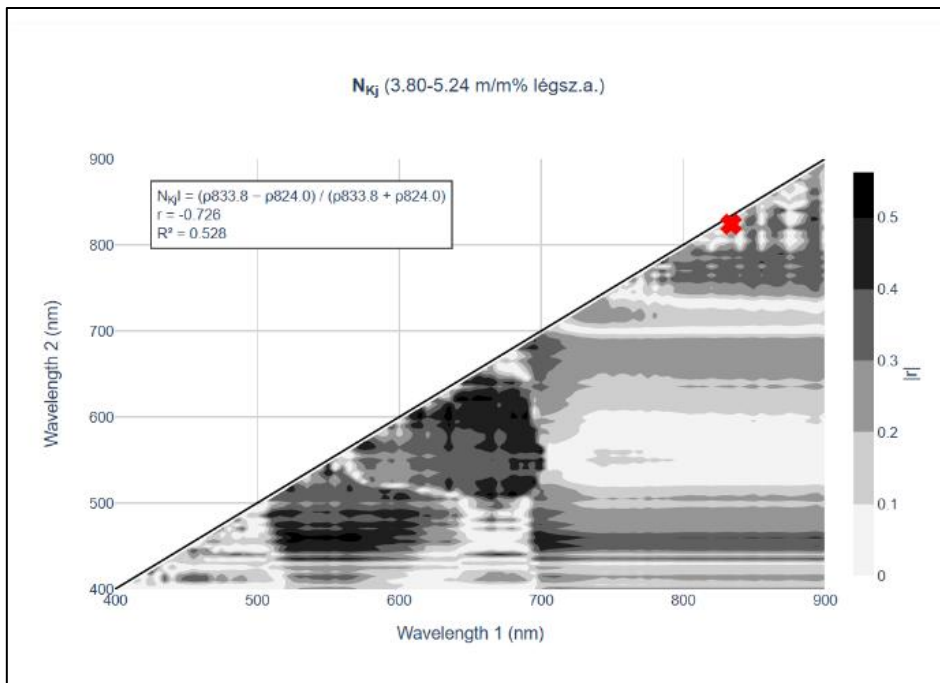
3. ábra. Tipikus reflexiós spektrum a CI-710s levélspektrométeren.

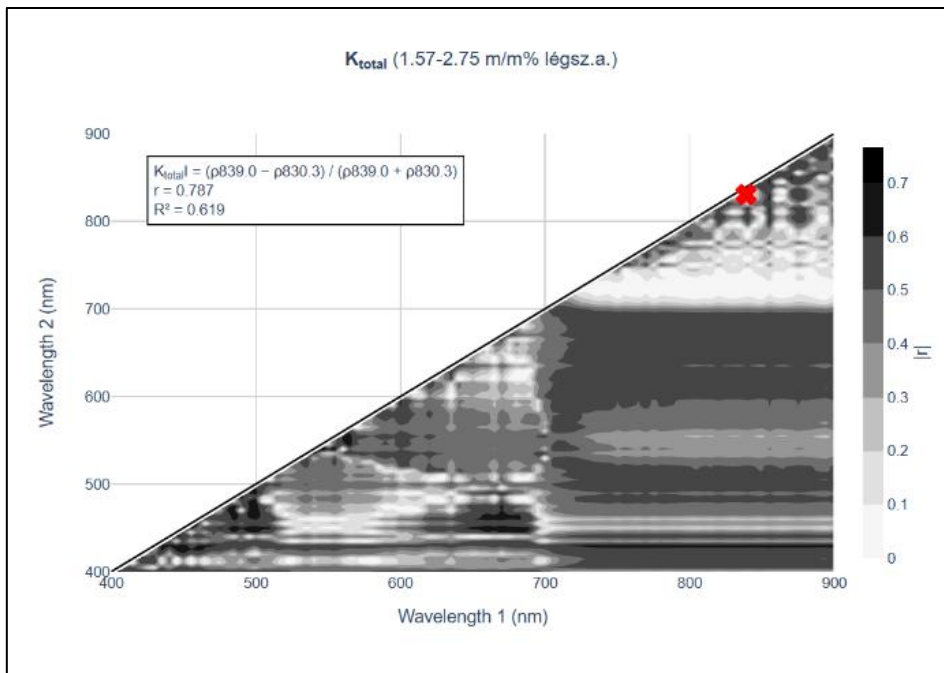
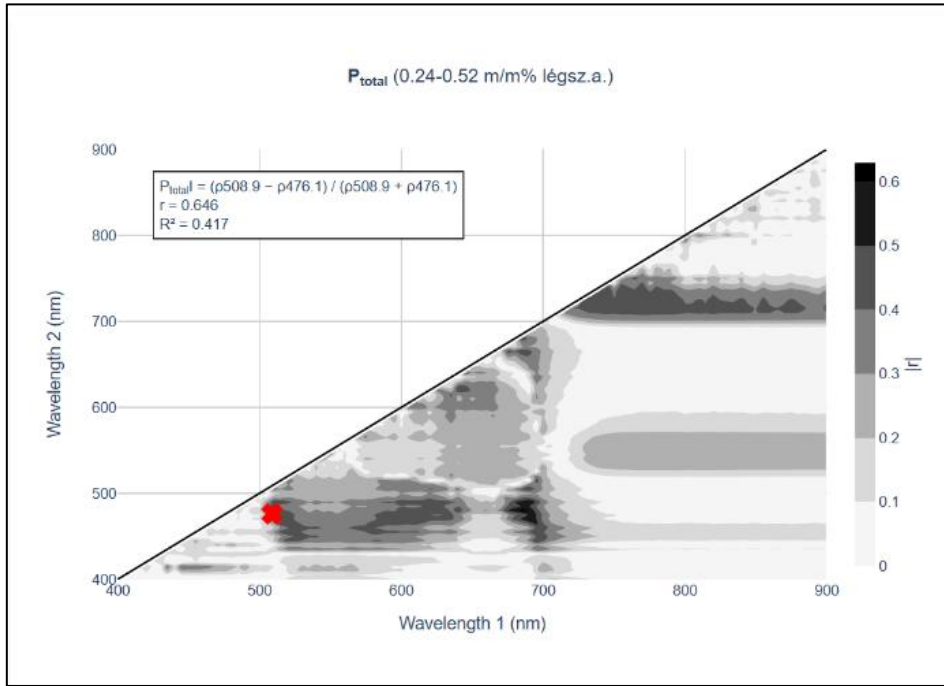
3. Eredmények és következtetések

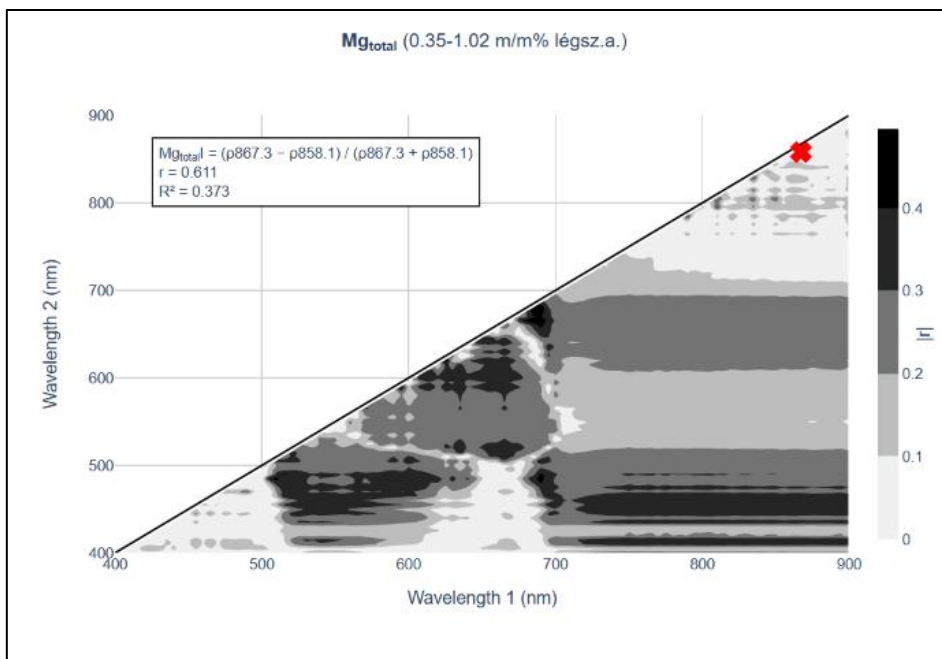
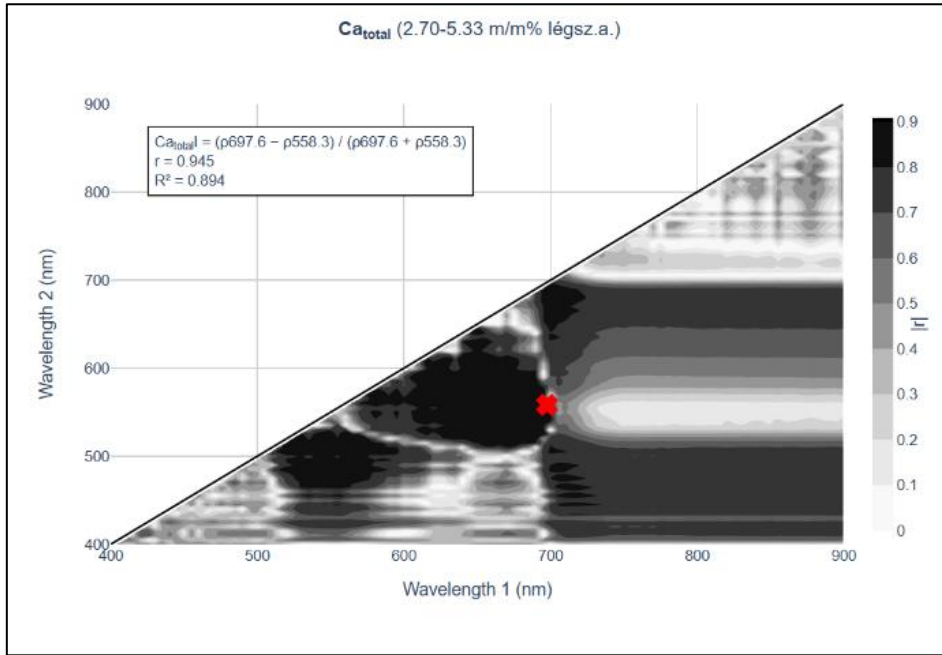
Az alábbi ábrán (4. ábra) az egyes hullámhossz párokkal számított NDI értékekhez tartozó korrelációs együtthatók láthatóak, makroelemenként. Minden makroelem esetében feltüntettük az ábrán pirossal jelölt hullámhossz kombinációval felírt NDI képletet és a hozzá tartozó korrelációs koefficiens értéket. Látható, hogy mind az öt vizsgált makroelemnél találtunk olyan hullámhosszpárokat, ahol az NDI érték és a makroelem koncentráció erős pozitív vagy negatív korrelációt mutatott (N: $r=-0,726$, P: $r=0,646$, K: $r=0,787$, Ca: $r=0,945$, Mg: $r=0,611$). Az egyes tápelemeknél releváns tápelem koncentráció tartományokat a diagramok címében tüntettük fel.

A dolgozatunkban bemutatott előzetes vizsgálati eredmények alapján remélhető, hogy a N, P, K, Ca és Mg esetében megfelelően robusztus, gyors, roncsolásmentes és akár szabadföldi körülmények között is alkalmazható mérőmódszert tudunk kidolgozni ipari paradicsom ültetvények szaktanácsadása céljára. A cél kettős: (1) az esetleges kritikus makroelem-hiány gyors kimutatása, és (2) a kritikus makroelem-arányok kellő időben történő felismerése.

Munkánk folytatása során teszt mintasorozatokkal, több évjáratban és több termőhelyen tervezzük ellenőrizni a módszer megbízhatóságát, valamint más alternatív hullámhossz-párok alkalmazhatóságának vizsgálata is szükséges lehet.







4. ábra. Korrelációs térképek ipari paradicsom kifejlett levelének N, P, K, Ca és Mg koncentrációja és a levelekről felvett reflexiós indexek között. A képletekben kiemelt és a térképeken piros színel jelölt hullámhossz kombinációk a fellelhető legerősebb korrelációt mutatják.

Köszönetnyilvánítás

A kutatási munka az „Átfogó digitális infrastruktúra-, készség- és a nemzetköziesítés fejlesztése a Neumann János Egyetemen” projekt keretében az RRF-2.1.2-21-2022-00039 kutatási ösztöndíj pályázat támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Boshkovski B, Tzerakis C, Doupis G, Zapolska A, Kalaitzidis C, Koubouris G (2020) „Relationships of Spectral Reflectance with Plant Tissue Mineral Elements of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Under Drought and Salinity Stresses.” *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 51(5), 675-686. doi: 10.1080/00103624.2020.1729789.
- [2] Che S, Wu L, Wang ZD, Tian L, Du GY, Mao YX (2024) „Nondestructive estimation of specific macroelement contents in thalli of the red macroalga *Pyropia yezoensis* using hyperspectral imaging.” *J Appl Phycol* 36, 3033–3045. doi: 10.1007/s10811-024-03279-x.
- [3] De Silva AL, Trueman SJ, Kämper W, Wallace HM, Nichols J, Bai SH (2023) „Hyperspectral imaging of adaxial and abaxial leaf surfaces as a predictor of Macadamia crop nutrition.” *Plants* 12(3), 558-573. doi: 10.3390/plants12030558.
- [4] Du R, Chen J, Xiang Y, Zhang Z, Yang N, Yang X, Tang Z, Wang H, Wang X, Shi H, Li W (2023) „Incremental learning for crop growth parameters estimation and nitrogen diagnosis from hyperspectral data.” *Computers and Electronics in Agriculture* 215, 108356. doi: 10.1016/j.compag.2023.108356.
- [5] Oliveira LFR, Santana RC, Oliveira MLR (2019) „Nondestructive estimation of leaf nutrient concentrations in Eucalyptus plantations.” *CERNE* 25(2): 184-194. doi: 10.1590/01047760201925022631.
- [6] Tian T, Wang J, Tao Y, Ji F, He Q, Sun C, Zhang Q (2024) „Estimating Rice Leaf Nitrogen Content and Field Distribution Using Machine Learning with Diverse Hyperspectral Features.” *Agronomy* 14(12) 2760. doi: 10.3390/agronomy14122760.
- [7] Szilárd, P B, Badics, M Cs (2024) „Normális eloszlás vizsgálata: melyik tesztet alkalmazzuk a gyakorlatban?” *Statisztikai Szemle*, 102 (1). pp. 5-37. doi: 10.20311/stat2024.01.hu0005.