

DOI: <https://doi.org/10.61308/PXJS7160>

Изследване на приложимостта на вегетационни индекси за диагностика на азотния статус при тютюн

Радка Божинова, Йовко Дюлгерски

Институт по тютюна и тютюневите изделия – с. Марково, област Пловдив, Селскостопанска Академия

E-mail*: rbojinova@yahoo.com

Резюме

Настоящото изследване оценява приложимостта на седем вегетационни индекса (CI Green, CI Red, CI Red Edge, LCI, DCNI, NDCI и CNDVI) за диагностика на азотния статус при ориенталски тютюн и Виржиния. Измерванията са извършени на листно ниво чрез спектрометър CI-710s SpectraVue, като резултатите са сравнени с лабораторно определеното съдържание на общ азот.

При сорт Крумовград 58 всички индекси показват висока положителна корелация с азотното съдържание ($r = 0,772-0,965$), като най-силни зависимости са отчетени за LCI, CI Green и CI Red Edge. Подобни резултати са получени и при сорт Виржиния 842 ($r = 0,797-0,916$), където четири индекса (CI Green, CI Red Edge, CNDVI и NDCI) показват статистически значими зависимости.

Изчислените линейни регресионни модели демонстрират висока прогностична способност ($R^2 = 0,596-0,931$ за ориенталски тютюн и $R^2 = 0,635-0,839$ за Виржиния), което потвърждава потенциала на спектралните индекси за индиректно определяне на азотното съдържание. Разликите между сортовете от двата типа тютюн се обясняват с особености в листната морфология и структурата на мезофила, които влияят върху спектралния сигнал.

Резултатите показват, че спектралните индекси са надежден инструмент за мониторинг на азотното хранене при тютюн, но е необходимо допълнително калибриране и разширяване на изследванията към повече сортове, фенологични фази и агроекологични условия.

Ключови думи: тютюн, азотен статус, вегетационни индекси, спектрални измервания

Investigation of the applicability of vegetation indices for diagnosing nitrogen status in tobacco

Radka Bozhinova*, Yovko Dyulgerski

Tobacco and Tobacco Products Institute - Markovo, Agricultural Academy

Corresponding author*: rbojinova@yahoo.com

Citation: Bozhinova, R., & Dyulgerski, Y. (2026). Investigation of the applicability of vegetation indices for diagnosing nitrogen status in tobacco. *Bulgarian Journal of Soil Science Agrochemistry and Ecology*, 60(3), 38- 48 (Bg).

Abstract

This study evaluates the applicability of seven vegetation indices (CI Green, CI Red, CI Red Edge, LCI, DCNI, NDCI, and CNDVI) for diagnosing nitrogen status in oriental and Virginia tobacco. Leaf level spectral measurements obtained with a CI-710s SpectraVue spectrometer were compared with laboratory determined total nitrogen content.

In the oriental tobacco cultivar Krumovgrad 58, all indices exhibited strong positive correlations with leaf nitrogen concentration ($r = 0.772-0.965$), with LCI, CI Green, and CI Red Edge showing the highest sensitivity. Similar results were observed in the Virginia 842 cultivar ($r = 0.797-0.916$), where four indices (CI Green, CI Red Edge, CNDVI, and NDCI) demonstrated statistically significant relationships.

Linear regression models developed for both cultivars showed high predictive performance ($R^2 = 0.596-0.931$ for oriental tobacco and $R^2 = 0.635-0.839$ for Virginia tobacco), confirming the potential of vegetation indices for indirect nitrogen estimation. The differences between the cultivars of the two tobacco types can be explained by specific features of leaf morphology and mesophyll structure, which influence the spectral signal.

The results indicate that spectral vegetation indices are a reliable tool for monitoring nitrogen nutrition in tobacco. Further calibration and expanded studies across cultivars, growth stages, and environmental conditions are required to enhance model robustness and practical applicability.

Key words: tobacco, nitrogen status, vegetation indices, spectral measurements

Въведение

Азотът има съществено значение за растежа, развитието, добива и качеството на тютюна. Установено е, че способността да се контролира както количеството, така и времето на азотното снабдяване по време на растежа и узряването на листата, в комбинация с влагоснабдяването, оказва по-силно влияние върху биометричните и стопанските показатели, както и върху пушателните свойства на тютюна, отколкото който и да е друг хранителен елемент или агротехнически фактор (Peedin, 1999). Общият азот в тютюна характеризира количественото съдържание на азотсъдържащите съединения в листата и на тази основа подсказва очакваната тяхна качественост като пушателен материал. Същевременно този показател в значителна степен отразява условията на отглеждането и особено на минералното хранене (Ibrahim El-Arabi, 1978). Освен това съдържанието на азот в тютюневите листа е в положителна корелация с нивата на азотно торене (Marchetti et al., 2006; Borges et al., 2012).

Поради необходимостта от надеждна оценка на азотното съдържание, широко приложение намират лабораторните методи, които се отличават с висока прецизност, но изискват ресурси и са трудоемки. Множество изследвания показват, че дистанционните спектрални методи, базирани на вегетационни индекси, представляват надеждна алтернатива за оценка на физиологичното състояние на растенията (Gitelson and Merzlyak, 1997; Chen et al., 2010; Cui et al., 2019; de Souza et al., 2020; Pandey et al., 2022). В тази връзка оптичните сензори се утвърждават като устройства, осигуряващи бърза, ефективна и неразрушителна оценка на азотния статус на културите в полски условия (Padilla et al., 2018).

Следователно индиректната оценка на азотното съдържание в растенията, основана на спектрални характеристики, предоставя съществени предимства за земеделските производители, като разширява възможностите за ефективно управление на производствените процеси и подпомага наблюдението в реално

време, необходимо за прецизно и локализирано торене. По този начин се създават благоприятни условия за развитие и внедряване на иновативни технологии през следващите години (Pandey et al., 2022). В подкрепа на това Liang et al. (2013) посочват, че спектралните характеристики могат да служат като надежден инструмент за диагностика на особеностите на азотния метаболизъм при тютюна, което подчертава потенциала на дистанционните методи за оценка на физиологичния статус на културата. Jia et al. (2013) допълват тези наблюдения, като демонстрират, че азотното състояние на тютюневите листа може да бъде надеждно предсказано чрез хиперспектрални данни, събрани на полето. Авторите разработват стабилни и надеждни модели за мониторинг на азотното съдържание, което подкрепя приложимостта на хиперспектралните методи за прецизно управление на азотното хранене при тютюна.

Концентрацията на хлорофил в листата е тясно свързана със съдържанието на азот и представлява индиректен, но високочувствителен индикатор за потенциалния добив, обусловен от зависимостта между фотосинтетичната активност и азотното хранене (Evans, 1983). Поради това през последните години съдържанието на хлорофил се утвърди като надежден параметър за оценка на хранителния статус и азотното снабдяване на растенията (Dey et al., 2016). В тази насока е установена силна положителна корелация между съдържанието на хлорофил в листата на ориенталски тютюн, определено чрез Hydro N тестер, и концентрацията на общ азот в тях (Bozhinova and Filipov, 2013). Хлорофилът не само служи като алтернативен индикатор за оценка на азотното съдържание в листата, но представлява и показател за диагностициране на азотен дефицит при растенията (Cеровиc et al., 2012).

Въз основа на тази зависимост са разработени множество спектрални индекси за оценка на хлорофила и азотния статус. Сред най-широко използваните са CI Green (Chlorophyll Index Green), CI Red (Chlorophyll Index Red) и CI Red Edge (Chlorophyll Index Red Edge), които се

основават на съотношения между отражението в близкия инфрачервен (NIR) диапазон и зеления, червения или red-edge спектър. Установено е, че тези индекси показват висока чувствителност към промените в съдържанието на хлорофил и азот при редица култури, включително царевица и соя (Gitelson et al., 2005), пшеница (Cui et al., 2019), мента (Pandey et al., 2022), тютюн (Guo et al., 2019). Наред с тях индекси като LCI (Leaf Chlorophyll Index) и NDCI (Normalized Difference Chlorophyll Index) също показват силна корелация със съдържанието на хлорофил в листата и се използват при мониторинга на растителния статус (Friedel et al., 2020; Fan et al., 2022). Освен това специализираният индекс DCNI (Double-Peak Canopy Nitrogen Index), разработен за по-точна оценка на азота чрез използване на два спектрални пика, демонстрира висока чувствителност към азотния статус при царевица, пшеница, картофи (Chen et al., 2010; Yang et al., 2021). Също така индексът CNDVI (Chlorophyll Normalized Difference Vegetation Index), който комбинира информация за биомаса и хлорофил, е приложим за оценка на физиологични промени, свързани с азотния режим (Sun et al., 2012).

Въпреки широкото приложение на тези индекси при различни културни растения, тютюнът остава сравнително слабо изследван по отношение на спектралната диагностика на азотния статус. Това се дължи на факта, че неговите специфични характеристики, като листна морфология, високо съдържание на вторични метаболити и други особености, налагат провеждането на целенасочени изследвания за оценка на ефективността на различните вегетационни индекси при диагностика на азотния статус.

Именно поради тази причина настоящото изследване има за цел да оцени приложимостта на няколко вегетационни индекса (CI Green, CI Red, CI Red Edge, LCI, DCNI, NDCI и CNDVI) за диагностика на азотния статус при тютюн, използвайки спектрални измервания на листно ниво. Очаква се получените резултати да допринесат за разработването на по-прецизни и практически приложими методи за мониторинг

на азотното хранене.

Материали и методи

За постигане на целта на изследването в Института по тютюна и тютюневите изделия – Марково (42.06°N, 24.70°E) са заложени полски и съдови опити с тютюн от сортови групи Басми и Виржиния. Експериментите включват различни варианти с почвено и листно торене, с цел оценка на реакцията на растенията към азотното хранене.

Полският опит с ориенталски тютюн (сорт Крумовград 58) включва вариантите:

T1 – Контрола (без торене);

T2 – 100% минерално торене с NPK тор ($N_3P_3K_3$);

T3 – Листно подхранване с калиев хумат Хумустим;

T4 – 50% минерално торене + Хумустим.

Хумустим® (Агроспейс, България) е органичен калиев хумат с високо съдържание на хуминови киселини и фулвокиселини, общ азот – 2%, общ фосфор – 1%, общ калий – 6,5%, общ калций – 2%, общ магнезий – 0,5%. Комбинираният NPK тор (15:15:15) е използван като източник на азот, фосфор и калий за вариантите с минерално торене.

Разсаждането е извършено на 15.05.2025 г. Листните третирания с Хумустим (60 ml.da⁻¹) са приложени двукратно – в началото на интензивния растеж на тютюна (20.06) и по време на активното нарастване (01.07). Минералният тор е внесен преди първото окопаване.

Почвата е с алкална реакция (pH_{H_2O} – 7,78), слабо запасена с минерален азот (14,83 mg.kg⁻¹), средно запасена с подвижен фосфор (5,6 mg/100 g) и с много високо съдържание на подвижен калий (47,9 mg/100 g).

Съдовият опит с тютюн Виржиния (сорт Виржиния 842) включва пет варианта:

T1 – Контрола (без торене);

T2 – Минерално торене с NPK тор ($N_3P_3K_3$);

T3 – Листно подхранване с Хумустим;

T4 – Листно подхранване с нанотор Lithovit;

T5 – 50% минерално торене + Хумустим.

Lithovit® е нанотор, съдържащ 80,2% CaCO₃, 4,6% MgCO₃ и микроелементи.

Тютюнът е разсаден на 05.06.2025 г. в съдове, съдържащи 5 kg Хумусно-карбонатна почва. Опитът е заложен в три повторения. Листните третирания с калиев хумат Хумустим (3 ml.L⁻¹) и с нанотор Lithovit (5 g.L⁻¹) са приложени двукратно – в началото на фаза интензивен растеж и по време на активния растеж. Комбинираният тор NPK (15:15:15) е внесен при разсаждането (3,3 g/съд).

Почвата е с алкална реакция, средно песъчливо-глинеата, със съдържание на N_{min} – 13,7 mg.kg⁻¹, подвижен P₂O₅ – 3,12 mg/100 g и подвижен K₂O – 49,3 mg/100 g.

С помощта на листен спектрометър CI-710s SpectraVue (CID Bio Science) са определени вегетационни индекси: CI Green (Chlorophyll Index Green), CI Red (Chlorophyll Index Red), CI Red Edge, LCI (Leaf Chlorophyll Index), DCNI (Double-peak canopy nitrogen index), NDCI (Normalized Difference Chlorophyll Index) и CNDVI (Chlorophyll Normalized Difference Vegetation Index), за оценка на реакцията на растенията към азотното хранене, въз основа

на стойностите на отразяване на светлината от листата на тютюна. Спектрометърът е проектиран да измерва едновременно поглъщането, преминаването и отразяването на светлината през листата в широк диапазон на дължини на вълните (340 - 1300 nm), като използва интегрирана листна сонда.

Измерванията са проведени на 8 и 9 юли, през периода на активен растеж на тютюна, върху втория и/или третия лист от върха надолу. Данните бяха събирани от по 5 растения, съответно 5 листа за всеки от вариантите с ориенталски тютюн и по 2 растения, или 4 листа за вариантите с тютюн Виржиния.

Вегетационните индекси са определени според техните емпирични уравнения, базирани на съответните дължини на вълната (таблица 1). Паралелно с оптичните измервания същите листа са взети за лабораторно определяне на съдържанието на общ азот по класическия метод на Келдал.

Обработката на данните е извършена с помощта на статистическия пакет PSPP for Windows, като са приложени корелационен и регресионен анализ.

Таблица 1. Вегетационни индекси, използвани в изследването
Table 1. Vegetation indices used in the study

Индекс/ Index	Съкращение/ Acronym	Формула/ Formula	Източник/ Reference
Хлорофилен индекс (зелена лента)/Chlorophyll Index Green	CI Green	$(R_{783}/R_{550}) - 1$	Gitelson et al. (2005)
Хлорофилен индекс (червена лента)/Chlorophyll Index Red	CI Red	$(R_{783}/R_{670}) - 1$	Gitelson et al. (2005)
Хлорофилен индекс (червен край)/Chlorophyll Index Red Edge	CI Red Edge	$(R_{750}/R_{710}) - 1$	Gitelson et al. (2005)
Индекс на листния хлорофил /Leaf Chlorophyll Index	LCI	$(R_{850} - R_{710})/(R_{850} + R_{680})$	Zhu et al. (2020)
Двойно пиков индекс на азота в листната маса/ Double-peak canopy nitrogen index	DCNI	$(R_{720} - R_{700})/(R_{700} - R_{670} + 0.03)$	Chen et al. (2010)
Хлорофилен индекс с нормализирана разлика / Normalized Difference Chlorophyll Index	NDCI	$(R_{762} - R_{527})/(R_{762} + R_{527})$	Marshak et al. (2000)
Вегетационен индекс, нормализиран за хлорофилните различия /Chlorophyll Normal- ized Difference Vegetation Index	CNDVI	$(R_{750} - R_{550})/(R_{750} + R_{550})$	Gitelson and Merzlyak (1997)

Резултати и обсъждане

В настоящото изследване беше оценена приложимостта на седем вегетационни индекса за диагностика на азотния статус при тютюн (ориенталски и Виржиния). Оценката се основава на връзката между лабораторно определената концентрация на общ азот в листата и стойностите на индексите, изчислени от спектралните характеристики на растенията. Анализът включва индекси, свързани с количественото определяне на общия хлорофил, хлорофил а и хлорофил b, чрез използване на различни спектрални диапазони.

Резултатите показаха, че всички изследвани индекси (CI Green, CI Red, CI Red Edge, LCI, DCNI, NDCI и CNDVI) показват висока положителна корелация със съдържанието на азот в листата на ориенталския тютюн ($r = 0,772-0,965$) (таблица 2). Най-високи корелационни коефициенти бяха отчетени за LCI (0,965), CI Green (0,954) и CI Red Edge (0,953), като при тези индекси зависимостите са статистически доказани при $P \leq 0,05$. Това подчертава тяхната висока чувствителност към промените в азотното хранене при сорт Крумовград 58.

Получените зависимости са в съответствие с публикувани данни за други култури. Pandey et

al. (2022) съобщават значима корелация между CI Green ($r = 0,71$) и CI Red Edge ($r = 0,71$) и концентрацията на азот при *Mentha* sp., което потвърждава универсалността на тези индекси като индикатори за азотно хранене.

В изследване върху царевица и пшеница Chen et al. (2010) определят DCNI като най-подходящ индекс за оценка на азотното съдържание. Разликите спрямо настоящото изследване вероятно се дължат на листната морфология и пигментния състав при ориенталския тютюн, които оказват влияние върху характеристиката на отражение и поглъщане на светлина.

Въз основа на установените корелации бяха изчислени линейни регресионни модели, описващи зависимостта между стойностите на вегетационните индекси и концентрацията на азот в листата (фиг. 1). Моделите показват високи стойности на коефициента на детерминация ($R^2 = 0,596-0,931$), което демонстрира добра прогностична способност.

Най-високи R^2 стойности са отчетени при индексите LCI, CI Green и CI Red Edge, което съответства на техните високи корелационни коефициенти. Това потвърждава, че тези индекси могат да бъдат използвани като надежден инструмент за индиректно определяне на азотното съдържание при ориенталски тютюн.

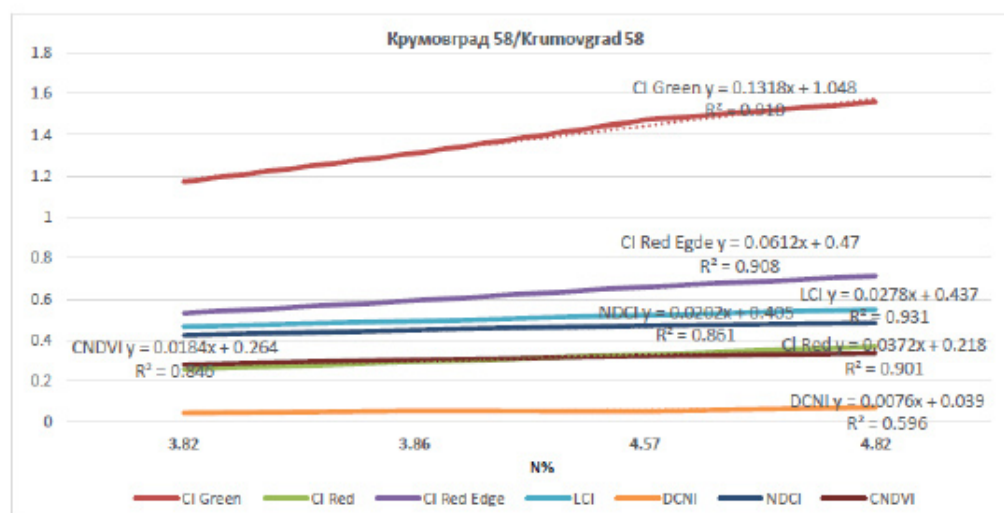
Резултатите подчертават потенциала на

Таблица 2. Коефициенти на корелация между вегетационните индекси и концентрацията на N в листата на ориенталски тютюн

Table 2. Correlation coefficients between vegetation indices and leaf N concentration in oriental tobacco

	CI Green	CI Red	CI Red Edge	LCI	DCNI	NDCI	CNDVI
Корелационен коефициент/ Correlation coefficient	0,954*	0,949	0,953*	0,965*	0,772	0,928	0,920
Доказаност/ Significance	0,046	0,051	0,047	0,035	0,228	0,072	0,080

* - Доказано при $P \leq 0,05$ /Significant at $P \leq 0,05$



Фиг. 1. Зависимост между концентрацията на азот в листата на ориенталски тютюн и вегетационните индекси

Fig. 1. Relationship between leaf nitrogen concentration in oriental tobacco and the vegetation indices

спектралните индекси за приложение в прецизното земеделие. При култури като тютюна, където качеството на продукцията е силно зависимо от балансираното азотно хранене, възможността за бърза и недеструктивна оценка е от особено значение.

Въпреки високата точност на моделите, трябва да се има предвид, че изследването е проведено върху един сорт ориенталски тютюн и при конкретни агроекологични условия, което ограничава възможността за обобщаване на резултатите. Бъдещи изследвания следва да включват повече сортове и различни типове тютюн, както и различни фенологични фази. Проучвания на редица автори (Li et al., 2010; de Souza et al., 2020; Ljubičić et al., 2025) показват, че относителните стойности на вегетационните индекси могат да варират значително между различните фази на растеж и развитие на растенията.

Приложимостта на вегетационните индекси беше оценена при условията на съдов опит с тютюн Виржиния (сорт Виржиния 842). Подобно на резултатите, получени при ориенталския тютюн, същата група индекси показват високи корелационни коефициенти със съдържанието

на азот в листата, определено чрез лабораторен анализ ($r = 0,797-0,916$) (таблица 3). За четири от индексите (CI Green, CI Red Edge, CNDVI и NDCl) корелациите са статистически значими при $P \leq 0,05$, което подчертава тяхната надеждност като индикатори за азотното хранене при този сорт.

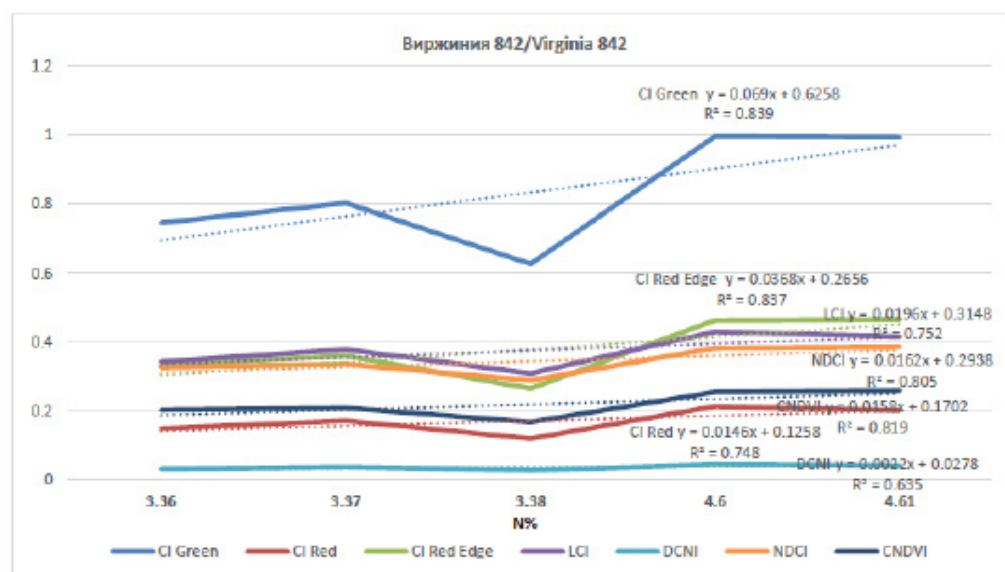
Както и при ориенталския тютюн, високите стойности на корелационните коефициенти при сорт Виржиния 842 позволиха изчисляването на прости линейни регресионни зависимости, които дават възможност за индиректно определяне на азотното съдържание в листата на растенията (фиг. 2). Получените модели показаха стойности на коефициента на детерминация R^2 в диапазона 0,635-0,839, което потвърждава добрата прогностична способност на използваните индекси.

Разликите между двата изследвани сорта, принадлежащи към различни типове тютюн, могат да бъдат обяснени със специфичните особености на тяхната листна морфология. Donev and Doneva (1974) подчертават, че анатомичната структура на тютюневия лист носи отпечатък на сортовите особености, етажното разположение

Таблица 3. Коефициенти на корелация между вегетационните индекси и концентрацията на N в листата на тютюн Виржиния 842

Table 3. Correlation coefficients between vegetation indices and leaf N concentration in Virginia 842 tobacco

	CI Green	CI Red	CI Red Edge	LCI	DCNI	NDCI	CNDVI
Корелационен коефициент/ Correlation coefficient	0,916*	0,865	0,915*	0,867	0,797	0,897*	0,905*
Доказаност/ Significance	0,029	0,058	0,029	0,057	0,107	0,039	0,035



Фиг. 2. Зависимост между концентрацията на азот в листата на тютюн Виржиния 842 и вегетационните индекси

Fig. 2. Relationship between leaf nitrogen concentration in Virginia 842 tobacco and the vegetation indices

на листата, екологичните и агротехническите условия на отглеждане. Листният мезофил се отличава със значителна пластичност, варираща между ксерофитен, мезофитен и хигрофитен тип. Тенденцията при ориенталските тютюни (басмите) е листният мезофил да развива по-ксерофитна структура, с по-сбит мезофитен

строеж на палисадния и гъбчестия паренхим и по-малки междуклетъчни пространства. При тютюн Виржиния листният мезофил проявява по-хигрофитни характеристики. С развитието на по-мощен мезофил гъбчестият паренхим е с по-рехавя структура и по-големи междуклетъчни пространства.

Liang et al. (2013) анализират зависимостта между спектралните характеристики на различни тютюневи сортове и тяхната ефективност на използване на азота. Авторите установяват, че спектралната отражателна способност на листата се различава значително при различни нива на азотно торене, което отразява сортовоспецифичната реакция към азота. Те заключават, че в областта на видимата светлина сортовете с по-висока ефективност на използване на азота проявяват по-ниска спектрална отражателна способност, съответстваща на по-високото им съдържание на хлорофил.

В този контекст ориенталският тютюн, със своите по-тънки листа и по-ниска листна маса, улеснява проникването и отражението на светлината. Сорт Виржиния 842, от своя страна, се характеризира с по-дебели листа и различна структура на мезофила, което може да промени спектралния сигнал и да повлияе върху спектралните индекси.

В проучване с тютюн Бърлей Pelivanoska et al. (2005) установяват, че торенето и напояването оказват съществено влияние върху анатомичната структура на листата, което подчертава ролята на външните фактори за формиране на мезофила.

Резултатите показват, че и при двата типа тютюн съществува потенциал за използване на спектрални индекси за диагностика на азотното хранене. Необходимо е обаче допълнително калибриране на моделите, както и по-задълбочено изследване на влиянието на сортовите особености, фенологичната фаза и агротехническите условия върху спектралния отговор.

Изводи

Резултатите от проведеното изследване показват, че през вегетативната фаза (период на интензивен растеж на тютюна) всички изследвани вегетационни индекси проявяват силна положителна корелация с азотното съдържание в листата както при ориенталския тютюн (Крумовград 58), така и при тютюн Виржиния (Виржиния 842). Това показва, че в

разглеждания етап от развитието на растенията те са чувствителни към измененията в азотното хранене.

Въз основа на проведените корелационни и регресионни анализи може да се заключи, че при ориенталския тютюн най-висока диагностична стойност в условията на настоящото изследване показват индексите LCI, CI Green и CI Red Edge, докато при тютюн Виржиния най-добри резултати са получени за CI Green, CI Red Edge, CNDVI и NDCI. Получените резултати се отнасят за изследваната фенологична фаза, в която са извършени спектралните измервания.

Получените линейни регресионни зависимости показват, че в условията на проведеното изследване спектралните индекси позволяват надеждно прогнозиране на съдържанието на общ азот в листата през периода на активен растеж на тютюна. Разработените модели се характеризират с високи стойности на коефициента на детерминация ($R^2 = 0,596-0,931$ за ориенталски тютюн и $R^2 = 0,635-0,839$ за тютюн Виржиния), което потвърждава приложимостта им в условията на настоящото изследване.

Резултатите от изследването показват, че различията в листната морфология и структурата на мезофила между ориенталския тютюн и тютюн Виржиния оказват влияние върху спектралния сигнал и съответно върху диагностичната ефективност на отделните вегетационни индекси. Това предполага необходимостта от разработване на специфични калибрационни модели според типа и сорта тютюн.

На база на получените резултати може да се заключи, че спектралните индекси имат потенциал да бъдат използвани като бърз, недеструктивен и икономически ефективен подход за оценка на азотното хранене при тютюна в периода на активен растеж, когато са извършени измерванията. Приложимостта им в други етапи от развитието на културата следва да бъде допълнително проверена.

С оглед ограниченията на настоящото изследване е необходимо бъдещите проучвания да обхванат повече типове и сортове тютюн, различни фенологични фази и разнообразни

агроекологични условия, с цел повишаване на универсалността и точността на разработените модели.

Конфликт на интереси: Авторите декларират, че не съществува конфликт на интереси.

Литература

- Borges, A., Morejón, R., Izquierdo, A., Ortega, E., & Rodes, R. (2014). Nitrogen fertilization for optimizing the quality and yield of shade grown Cuban cigar tobacco: required nitrogen amounts, application schedules, adequate leaf nitrogen levels, and early season diagnostic tests. *Contributions to Tobacco & Nicotine Research*, 25(1), 336-349.
- Bozhinova, R., & Filipov, H. (2013). Use of a chlorophyll meter as a tool to diagnose the nitrogen status of oriental tobacco. *Tobacco/Tutun*, 63(1-6), 72-78.
- Cerovic, Z. G., Masdoumier, G., Ghazlen, N. B., & Latouche, G. (2012). A new optical leaf-clip meter for simultaneous non-destructive assessment of leaf chlorophyll and epidermal flavonoids. *Physiologia plantarum*, 146(3), 251-260.
- Chen, P., Haboudane, D., Tremblay, N., Wang, J., Vigneault, P., & Li, B. (2010). New spectral indicator assessing the efficiency of crop nitrogen treatment in corn and wheat. *Remote Sensing of environment*, 114(9), 1987-1997.
- Cui, B., Zhao, Q., Huang, W., Song, X., Ye, H., & Zhou, X. (2019). A new integrated vegetation index for the estimation of winter wheat leaf chlorophyll content. *Remote Sensing*, 11(8), 974.
- de Souza, R., Peña-Fleitas, M. T., Thompson, R. B., Gallardo, M., & Padilla, F. M. (2020). Assessing performance of vegetation indices to estimate nitrogen nutrition index in pepper. *Remote Sensing*, 12(5), 763.
- Dey, A. K., Sharma, M., & Meshram, M. R. (2016). An analysis of leaf chlorophyll measurement method using chlorophyll meter and image processing technique. *Procedia computer science*, 85, 286-292.
- Donev, N., & Doneva, M. (1974). Morphological and anatomical characteristics of Oriental and large-leaf tobacco. In: *Tobacco in Bulgaria* (Donev, N., Zlatev, G., eds.). Hristo G. Danov, Plovdiv, 63-71 (Bg).
- Evans, J. R. (1983). Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant physiology*, 72(2), 297-302.
- Fan, K., Li, F., Chen, X., Li, Z., & Mulla, D. J. (2022). Nitrogen balance index prediction of winter wheat by canopy hyperspectral transformation and machine learning. *Remote Sensing*, 14(14), 3504.
- Friedel, M., Hendgen, M., Stoll, M., & Löhnertz, O. (2020). Performance of reflectance indices and of a handheld device for estimating in-field the nitrogen status of grapevine leaves. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 26(2), 110-120.
- Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N. (1997). Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *International journal of remote sensing*, 18(12), 2691-2697.
- Gitelson, A. A., Viña, A., Ciganda, V., Rundquist, D. C., & Arkebauer, T. J. (2005). Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophysical research letters*, 32(8).
- Guo, T., Tan, C., Li, Q., Cui, G., & Li, H. (2019). Estimating leaf chlorophyll content in tobacco based on various canopy hyperspectral parameters. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(8), 3239-3247.
- Ibrahim El-Arabi, F. (1978). *Growth, metabolism, yield and quality of Oriental tobacco depending on nitrogen nutrition*, Abstract, Plovdiv (Bg).
- Jia, F., Liu, G., Liu, D., Zhang, Y., Fan, W., & Xing, X. (2013). Comparison of different methods for estimating nitrogen concentration in flue-cured tobacco leaves based on hyperspectral reflectance. *Field crops research*, 150, 108-114.
- Li, F., Miao, Y., Hennig, S. D., Gnyp, M. L., Chen, X., Jia, L., & Bareth, G. (2010). Evaluating hyperspectral vegetation indices for estimating nitrogen concentration of winter wheat at different growth stages. *Precision Agriculture*, 11(4), 335-357.
- Liang, T., Wang, J., Zhang, Y., Xi, J., Zhou, H., Wang, B., & Yin, Q. (2013). Spectral characteristics of tobacco cultivars with different nitrogen efficiency and its relationship with nitrogen use. In: *International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 239-246.
- Ljubičić, N., Popović, V., Vasileva, V., Kostić, M., Buden, M., Stevanović, N., & Stanković, N. (2025). Alternative NDVI combination in maize grain yield estimation. *Bulgarian Journal of Crop Science*, 62(4), 98-105.
- Marchetti, R., Castelli, F., & Contillo, R. (2006). Nitrogen requirements for flue-cured tobacco. *Agronomy journal*, 98(3), 666-674.
- Marshak, A., Knyazikhin, Y., Davis, A. B., Wiscombe, W. J., & Pilewskie, P. (2000). Cloud-vegetation interaction: Use of normalized difference cloud index for estimation of cloud optical thickness. *Geophysical Research Letters*, 27(12), 1695-1698.
- Padilla, F. M., Gallardo, M., Peña-Fleitas, M. T., De Souza, R., & Thompson, R. B. (2018). Proximal optical sensors for nitrogen management of vegetable crops: A review. *Sensors*, 18(7), 2083.
- Pandey, P., Singh, S., Khan, M. S., & Semwal, M. (2022). Non-invasive estimation of foliar nitrogen concentration using spectral characteristics of menthol mint (*Mentha arvensis* L.). *Frontiers in Plant Science*, 13, 68.
- Peedin, G.F. (1999). Production practices. Flue-cured

tobacco. In: *Tobacco: production, chemistry, and technology* (Davis D.L., Nielsen M.T., eds.). Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK, 104-142.

Pelivanoska, V., Filiposki, K., & Trajkoski, J. (2005). Changes in anatomic structure of burley tobacco under the influence of irrigation and fertilization. *Contributions to Tobacco & Nicotine Research*, 21(6), 345-349.

Sun, H., Li, M., Zheng, L., Zhang, Y., & Zhang, Y. (2012, November). Monitoring of maize chlorophyll content based on multispectral vegetation indices. In: *Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Remote Sensing Technology, Techniques and Applications IV* (Wang J, Larar A. M., Suzuki, M., Chung H.-S., eds.). SPIE, 170-179.

Yang, H., Li, F., Hu, Y., & Yu, K. (2021). Hyperspectral indices optimization algorithms for estimating canopy nitrogen concentration in potato (*Solanum tuberosum* L.). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 102, 102416.

Zhu, J., He, W., Yao, J., Yu, Q., Xu, C., Huang, H., & Mhae B. Jandug, C. (2020). Spectral reflectance characteristics and chlorophyll content estimation model of *Quercus aquifolioides* leaves at different altitudes in Sejila Mountain. *Applied Sciences*, 10(10), 3636.

Received: 16th June 2026, **Approved:** 10th August 2026,

Published: September 2026