ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

UDK 664.7:004.932

BUG‘DOY DONINING FUSARIUM BILAN ZARARLANISHINI GIPERSPEKTRAL TASVIRLASH ASOSIDA ANIQLASH VA AVTOMATIK SARALASH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH

Negmatullayev Mirjaxon Asqar o‘g‘li
Qarshi davlat texnika universiteti magistranti
mirjahonnegmatillayev@gmail.com
Qobilova Nilufar Xudoyshukurovna
Qarshi davlat texnika universiteti, Oziq-ovqat texnologiyasi kafedrasi v.b. professori (PhD)
nilufarqobilova90@gmail.com
doi:https://doi.org/10.5281/zenodo.23304922

Annotatsiya. Maqolada bug‘doy donining Fusarium bilan zararlanishini tezkor va buzmasdan aniqlash uchun giperspektral tasvirlashning ilmiy asoslari tahlil qilindi. Fusarium va deoksinivalenol (DON) kontaminatsiyasiga xos spektral o‘zgarishlar, informativ to‘lqin uzunliklarini tanlash hamda klassifikatsiya modellaridan foydalanish imkoniyatlari umumlashtirildi. Don oqimini bir qatlamda shakllantirish, spektral skanerlash, dasturiy klassifikatsiya va pnevmatik ejektor orqali zararlangan donni chiqarib tashlashni birlashtiruvchi avtomatik saralash sxemasi taklif etildi. Laboratoriya giperspektral tizimidan ishlab chiqarishga mos multispektral modulga o‘tish tamoyillari asoslandi.

Kalit so‘zlar: bug‘doy doni, Fusarium, deoksinivalenol, giperspektral tasvirlash, NIR, klassifikatsiya, avtomatik saralash, pnevmatik ejektor, oziq-ovqat xavfsizligi.

ВЫЯВЛЕНИЕ ПОРАЖЕНИЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ FUSARIUM НА ОСНОВЕ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СОРТИРОВКИ

Негматуллаев Миржахон Аскар угли
Магистрант Каршинского государственного технического университета
mirjahonnegmatillayev@gmail.com
Кобилова Нилуфар Худойшукуровна
И. о. профессора кафедры пищевой технологии Каршинского государственного технического университета (PhD)
nilufarqobilova90@gmail.com
doi:https://doi.org/10.5281/zenodo.23304922

Аннотация. Проанализированы возможности гиперспектральной визуализации для быстрого и неразрушающего выявления зерновок пшеницы, поражённых Fusarium. Рассмотрены спектральные изменения при фузариозном поражении и контаминации DON, выбор информативных длин волн и построение классификационных моделей. Предложена

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

схема автоматической сортировки, объединяющая однослойную подачу зерна, спектральное сканирование, программную классификацию и пневматическое удаление опасных зерновок. Обоснован переход от лабораторной гиперспектральной системы к промышленному мультиспектральному модулю.

Ключевые слова: зерно пшеницы, Fusarium, дезоксиниваленол, гиперспектральная визуализация, NIR, классификация, автоматическая сортировка, пневматический эжектор, безопасность пищевых продуктов.

DETECTION OF FUSARIUM-DAMAGED WHEAT KERNELS BY HYPERSPECTRAL IMAGING AND DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SORTING TECHNOLOGY

Negmatullayev Mirjaxon Asqar o‘g‘li
Master’s student, Karshi State Technical University
mirjahonnegmatillayev@gmail.com
Qobilova Nilufar Xudoyshukurovna
Acting Professor (PhD), Department of Food Technology, Karshi State Technical University
nilufarqobilova90@gmail.com
doi:https://doi.org/10.5281/zenodo.23304922

Abstract. The paper reviews hyperspectral imaging for rapid, non-destructive detection of Fusarium-damaged wheat kernels. Spectral changes associated with Fusarium infection and deoxynivalenol (DON), selection of informative wavelengths, and classification approaches are summarized. A conceptual automated sorting line combining single-layer feeding, spectral scanning, software classification, and pneumatic ejection is proposed. The transition from laboratory hyperspectral imaging to a simplified industrial multispectral module is substantiated.

Keywords: wheat kernel, Fusarium, deoxynivalenol, hyperspectral imaging, NIR, classification, automated sorting, pneumatic ejector, food safety.

KIRISH

Bug‘doy oziq-ovqat xavfsizligini ta’minlaydigan asosiy don ekinlaridan biridir. Fusarium turkumiga mansub zamburug‘lar boshoq va donni zararlab, texnologik sifatni pasaytiradi hamda deoksinivalenol (DON) kabi mikotoksinlarning to‘planishiga sabab bo‘lishi mumkin. DON don partiyasida notekis taqsimlangani uchun alohida kuchli zararlangan donlar umumiy xavfni sezilarli oshiradi [1, 2].

Fusarium zararlanishi vizual saralash, mikologik tekshiruv, ELISA va xromatografik usullar bilan aniqlanadi. Referens laboratoriya usullari aniqligi yuqori bo‘lsa-da, katta don oqimini real vaqt rejimida tekshirish uchun sekin va qimmat. Shu sababli don korxonalarida buzmasdan ishlaydigan optik skrining texnologiyalariga ehtiyoj mavjud.

Giperspektral tasvirlash (HSI) fazoviy tasvir va spektral ma’lumotni birlashtiradi: har bir piksel uchun qaytarilish spektri olinadi. Natijada donning rangi, morfologiyasi, namlik va

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

kimyoviy tarkibdagi o‘zgarishlar birgalikda baholanadi. Zamonaviy tadqiqotlarda HSI bug‘doyning sifat ko‘rsatkichlari, mog‘orlanish va mikotoksin kontaminatsiyasini aniqlashda istiqbolli texnologiya sifatida baholanmoqda [3]. Ushbu ishning maqsadi Fusarium zararlanishini HSI yordamida aniqlash bo‘yicha ilmiy natijalarni umumlashtirish va don korxonalari uchun avtomatik optik-pnevmatik saralash texnologiyasini taklif etishdan iborat.

ADABIYOTLAR TAHLILI

Fusarium bilan zararlangan donlarning spektral xususiyatlari va mikotoksin xavfini baholash bo‘yicha xorijiy tadqiqotlar HSI texnologiyasining imkoniyatlarini ko‘rsatadi. Wang va hammualliflar bug‘doy sifatini giperspektral tasvirlash orqali baholashdagi uslubiy imkoniyatlar va cheklovlarni umumlashtirgan [3]. Femenias va hammualliflar alohida donlarning Fusarium zararlanishi hamda DON miqdorini NIR–HSI asosida tahlil qilgan [4]. Vicens-Sans va hammualliflar DON kontaminatsiyasini kamaytirish uchun optik saralash istiqbollarini o‘rgangan [5].

HSI ning asosiy ustunligi faqat tashqi rang va shaklga emas, balki donning turli to‘lqin uzunliklarida yorug‘likni qaytarish xususiyatiga ham tayanishidir. Fusarium zararlanishida hujayra tuzilmasi, pigmentlar, namlik, oqsil va uglevod komponentlari o‘zgaradi; bu reflektans spektriga ta’sir qiladi. Shu bois HSI tashqi alomatlari zaif bo‘lgan donlarni aniqlashda oddiy RGB kameraga nisbatan ko‘proq axborot beradi [3, 6].

Zhang va hammualliflar 400–1000 nm diapazonda 810 ta bug‘doy donini o‘rganib, spektral va tasvir belgilarini birlashtirish orqali 96,44 % gacha klassifikatsiya aniqligiga erishgan [6]. Ropelewska va Zapotoczny ayrim to‘lqin uzunliklarida sog‘lom va zararlangan donlarni ajratishda 78–100 % oralig‘idagi natijalarni qayd etgan [7]. Bu natijalar sanoat tizimi uchun barcha kanallarni emas, eng informativ diapazonlarni tanlash mumkinligini ko‘rsatadi.

DON bo‘yicha vazifa murakkabroq. 2022-yilgi tadqiqotda Fusarium simptomatik klassifikatsiyasi 85,8 %, DONning 1250 µg/kg chegarasi bo‘yicha klassifikatsiya 76,9 % aniqlikda bajarilgan va DON prediktsiyasida R^2=0,88 qayd etilgan [4]. 2024-yilgi tadqiqotlarda kuchli kontaminatsiyalangan donlar yaxshi aniqlangan, biroq taxminan 1–4 mg/kg DON oralig‘idagi namunalar chegaraviy zona bo‘lib qolgan [5]. Shu sababli PhD darajasidagi asosiy ilmiy muammo aynan chegaraviy kontaminatsiyada ishonchli klassifikatsiyani ta’minlashdir.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

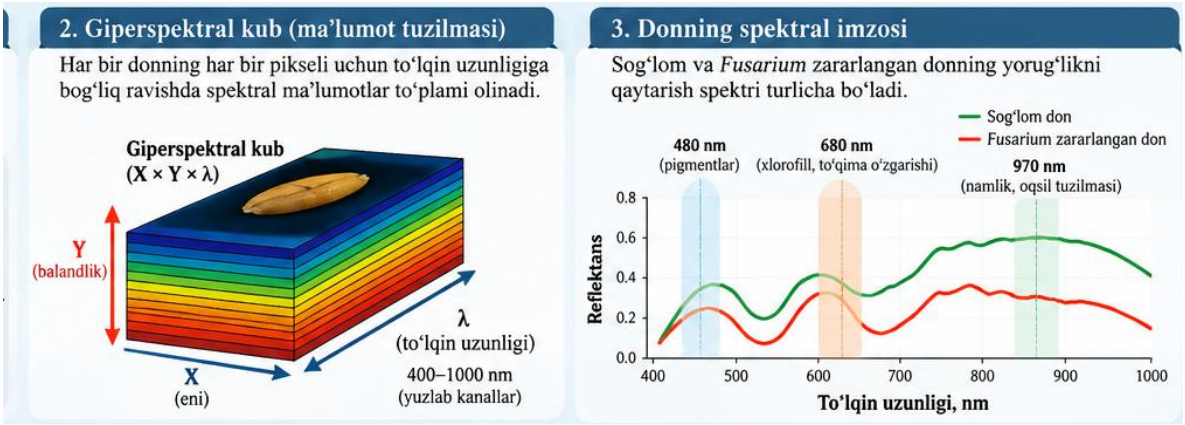
Maqola ilmiy-tahliliy va texnologik loyihalash usulida bajarildi. Fusarium zararlangan bug‘doyni HSI bilan aniqlash, DON bo‘yicha yakka donlarni klassifikatsiyalash va optik saralashga oid manbalar qiyosiy tahlil qilindi. Asosiy mezonlar: spektral diapazon, klassifikatsiya usuli, aniqlik, DON bo‘yicha verifikatsiya va ishlab chiqarishga moslashtirish imkoniyati.

Tavsiya etiladigan ishlov ketma-ketligi: radiometrik kalibrlash; donni fondan segmentatsiya qilish; har bir don uchun ROI ajratish; spektrni olish; SNV, MSC yoki Savitzky-Golay usuli bilan oldindan ishlash; PCA, SPA, CARS yoki Random Forest orqali informativ to‘lqin uzunliklarini tanlash; LDA, SVM yoki Random Forest bilan klassifikatsiya qilish [3–7]. DON bo‘yicha kalibrlash uchun skanerlangan donlar HPLC yoki boshqa validatsiyalangan referens usul bilan tekshirilishi kerak.

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

Mazkur ish ilmiy adabiyotlarning qiyosiy tahlili va texnologik loyihalashga asoslangan. Quyida berilgan tasvirlar va texnologik sxema konseptual xususiyatga ega; ular mualliflarning mustaqil HSI tajribalaridan olingan eksperimental o‘lchovlar sifatida talqin qilinmaydi.



Manba: dastlabki maqolada keltirilgan mualliflik konseptual tasviri.

1-rasm. Giperspektral kub va sog‘lom hamda Fusarium zararlangan don spektrlarining konseptual farqi (muallif ishlanmasi)

TAHLILLAR VA NATIJALAR

Adabiyotlardan olingan natijalar quyidagi jadvalda umumlashtirildi. Jadvaldagi ko‘rsatkichlar ilgari e’lon qilingan tadqiqotlarga tegishli bo‘lib, mazkur ish mualliflarining eksperimental natijalari emas.

1-jadval

Fusarium va DONni HSI orqali aniqlash bo‘yicha adabiyotlarda e’lon qilingan natijalar

Manba	Spektral diapazon / obyekt	Usul	Asosiy natija
Zhang va b., 2020 [6]	400–1000 nm; 810 don	PCA/SPA/RF + SVM/RF	96,44 % gacha
Femenias va b., 2022 [4]	NIR-HSI; 300 yakka don	PLS, klassifikatsiya	Fusarium 85,8 %; DON 76,9 %
Vicens-Sans va b., 2024 [5]	NIR-HSI; yakka don	Kemometriya	1–4 mg/kg oralig‘i murakkab
Yao va b., 2026 [8]	VNIR-HSI + SEM + SR-FTIR	SVM/RF	FHB >94 %; DON $R^2 \approx 0{,}93$

Manba: [4–8] adabiyotlarda keltirilgan ilmiy natijalar asosida tuzilgan.

Avtomatik saralash texnologiyasining taklif etilayotgan tuzilmasi

Texnologiyaning birinchi bosqichida don oqimi vibrota’minlagich yordamida bir qatlamga yaqin holatda konveyerga uzatiladi. Tashqi yorug‘likdan himoyalangan kamerada LED yoki halogen yoritgichlar bilan barqaror yoritish hosil qilinadi. Giperspektral kamera har bir donning fazoviy koordinatasi va spektrini qayd etadi.

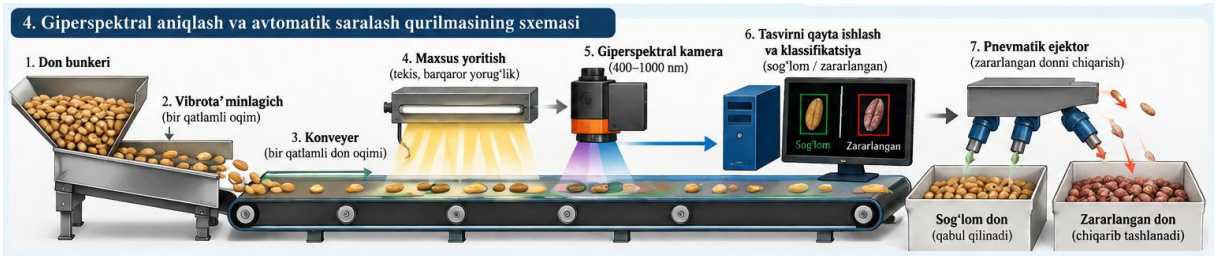
Dastur fonni olib tashlaydi, don koordinatasini aniqlaydi, spektrni oldindan ishlaydi va klassifikatsiya modeliga uzatadi. Model donni “qabul qilinadigan” yoki “Fusarium/DON xavfi

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

yuqori” sinfiga ajratadi. Konveyer tezligi va don koordinatasi bo‘yicha pnevmatik ejektorning kechikish vaqti hisoblanadi; qisqa havo impulsi zararlangan donni asosiy oqimdan chiqaradi.

Laboratoriya bosqichida yuzlab spektral kanalli HSI tizimi diagnostik to‘lqin uzunliklarini aniqlash uchun kerak. Ishlab chiqarish bosqichida esa tanlangan 5–12 ta to‘lqin uzunligiga asoslangan multispektral modul ma’lumot hajmini va qurilma narxini kamaytirib, yuqori tezlikda saralash imkonini beradi. Tajriba uch bosqichda olib borilishi maqsadga muvofiq: mahalliy navlardan kalibrlash to‘plamini shakllantirish; modelni tashqi validatsiya qilish; pilot multispektral saralagichni don korxonasida sinash.



Manba: dastlabki maqolada taqdim etilgan konseptual texnologik sxema.

2-rasm. Fusarium zararlangan bug‘doy donini aniqlash va pnevmatik ajratishning konseptual texnologik sxemasi (muallif ishlanmasi)

Ilmiy-uslubiy yangilik va amaliy ahamiyat

Taklif etilayotgan tadqiqotning ilmiy yangiligi mahalliy bug‘doy navlarida Fusarium zararlanishi va DON kontaminatsiyasiga xos diagnostik spektral qonuniyatlarni aniqlash, minimal informativ to‘lqin uzunliklari majmuasini tanlash va ularni real vaqt rejimida ishlaydigan saralash algoritmi bilan bog‘lashdan iborat. Laboratoriya klassifikatsiyasini don oqimidagi fizik ajratish jarayoniga birlashtirish mavzuning asosiy texnologik yangiligini tashkil etadi.

Amaliy jihatdan tizim elevator, don qabul qilish punkti va un kombinati oldidagi tozalash liniyasiga o‘rnatilishi mumkin. HSI laboratoriya tahlilini to‘liq almashtirmaydi; u xavfli don va partiyalarni tezkor skrining qilib, HPLC yoki boshqa referens tahlilni maqsadli tashkil etishga yordam beradi. Patent obyekti sifatida bir qatlamli oziqlantirish bloki, multispektral yoritish moduli, kamera-ejektor sinxronizatsiyasi va pnevmatik ajratish qurilmasi ishlab chiqilishi mumkin.

Tizimning asosiy cheklovlari kamera narxi, yoritish sharoitiga sezgirlik, don orientatsiyasi va keng kimyoviy kalibrlash zaruratidir. Shu sababli model turli navlar, hosil yillari va agroiqlim zonalaridan olingan mustaqil partiyalar bilan tashqi validatsiyadan o‘tkazilishi kerak.

Shuni ta’kidlash lozimki, hozirgi tadqiqot ilmiy-tahliliy va konseptual xarakterga ega. Mahalliy bug‘doy navlari bo‘yicha spektral model aniqligi, DON uchun mustaqil kalibrlash va pnevmatik ejektor unumdorligi haqidagi natijalar kelgusidagi tajribalar orqali asoslanishi zarur.

XULOSA VA TAKLIFLAR

Fusarium va DON bilan bog‘liq xavf bug‘doyni qayta ishlashda muhim oziq-ovqat xavfsizligi muammosidir. Giperspektral tasvirlash sog‘lom va zararlangan yakka donlarni buzmasdan ajratish uchun yuqori salohiyatga ega. Ilmiy adabiyotlar 400–1000 nm va NIR diapazonlarida Fusarium zararlanishini yuqori aniqlikda klassifikatsiyalash mumkinligini, DON

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

bo‘yicha esa ayniqsa chegaraviy kontaminatsiya diapazonida modelni takomillashtirish zarurligini ko‘rsatadi.

Taklif etilgan texnologik sxema bir qatlamli don oqimini shakllantirish, optik skanerlash, spektral klassifikatsiya, koordinatani kuzatish va pnevmatik ajratishni yagona tizimda birlashtiradi. Laboratoriya HSI asosida eng informativ to‘lqin uzunliklarini tanlab, soddalashtirilgan multispektral sanoat modulini yaratish don korxonalarida xavfli donlarni tezkor kamaytirish va oziq-ovqat xavfsizligini texnologik boshqarish uchun istiqbolli yechimdir.

Taklif sifatida O‘zbekiston hududlarida yetishtirilgan turli nav va hosil yillariga tegishli bug‘doy partiyalarini HSI hamda referens mikotoksin tahlillari bilan o‘rganish, algoritmlarni mustaqil partiyalarda validatsiyalash va keyinchalik pilot saralash liniyasida sinovdan o‘tkazish maqsadga muvofiq.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Pitt J.I., Miller J.D. A concise history of mycotoxin research. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2017. Vol. 65. P. 7021–7033.
2. Femenias A., Ramos A.J., Sanchis V., Marín S. Use of hyperspectral imaging as a tool for Fusarium and deoxynivalenol risk management in cereals: A review. Food Control. 2020. Vol. 108. 106819.
3. Wang Y., Ou X., He H.-J., Kamruzzaman M. Advancements, limitations and challenges in hyperspectral imaging for comprehensive assessment of wheat quality. Food Chemistry: X. 2024. Vol. 21. 101235.
4. Femenias A., Ramos A.J., Sanchis V., Marín S. Near-infrared hyperspectral imaging evaluation of Fusarium damage and DON in single wheat kernels. Food Control. 2022. Vol. 142. 109239.
5. Vicens-Sans A., Pascari X., Molino F., Ramos A.J., Marín S. Near infrared hyperspectral imaging as a sorting tool for deoxynivalenol reduction in wheat batches. Food Research International. 2024. Vol. 178. 113984.
6. Zhang D., Chen G., Zhang H. et al. Integration of spectroscopy and image for identifying Fusarium damage in wheat kernels. Spectrochimica Acta Part A. 2020. Vol. 236. 118344.
7. Ropelewska E., Zapotoczny P. Classification of Fusarium-infected and healthy wheat kernels based on features from hyperspectral images. European Food Research and Technology. 2018. Vol. 244. P. 1453–1462.
8. Yao L. et al. Nondestructive detection of deoxynivalenol in wheat kernels using VNIR-HSI supported by spatial heterogeneity analysis with SEM and SR-FTIR. Food Control. 2026. Vol. 184. 112016.