

Augalų optinių savybių analizės jutiklių panaudojimas tiksliajam tręšimui

Remigijus Zinkevičius

Vytauto Didžiojo universitetas,
Žemės ūkio akademija,
Studentų g. 15a,
53362 Akademija, Kauno r.
El. paštas Remigijus.Zinkevicius@vdu.lt

Straipsnyje pateikiami augalų optinių savybių analizės jutiklių ISARIA ir OptRx panaudojimo tiksliajam tręšimui tyrimų rezultatai. Nustatyta, kad naudojant augalų optinių savybių jutiklius ISARIA ir OptRx galima įvertinti vasarinių kviečių pasėlių išsivystymo skirtumus. Taikant tikslųjį vasarinių kviečių tręšimą ir naudojant augalų optinės analizės jutiklius OptRx mineralinių trąšų sąnaudos 2016 m. buvo 3,5 % didesnės, o 2017 ir 2018 m. – 1,1 ir 3,5 % mažesnės, negu taikant įprastinę intensyviąją technologiją. Naudojant jutiklius ISARIA mineralinių trąšų sąnaudos 2016 ir 2018 m. buvo 0,5 ir 0,6 % didesnės, o 2017 m. – 4,6 % mažesnės, negu taikant įprastinę intensyviąją technologiją. Nedidelius mineralinių trąšų sąnaudų skirtumus bandymų variantuose galima paaiškinti nežymiais dirvožemio agrocheminių savybių ir augalų optinių savybių skirtumais bandymų laukuose.

Raktažodžiai: jutikliai, tręšimas

ĮVADAS

Pagrindiniai žingsniai taikant tiksliojo ūkininkavimo (TŪ) technologijas yra duomenų rinkimas, jų apdorojimas, sprendimų priėmimas ir informacijos panaudojimas suformuojant tikslius nurodymus žemės ūkio mašinoms. Pagal tai, kiek laiko praeina nuo reikalingų duomenų gavimo iki sprendimo priėmimo ir technologinės operacijos atlikimo, TŪ technologijos skirstomos į tris grupes: žemėlapišes (angl. *offline* arba *mapping approach*, vok. *Kartieransatz*), t. y. kai atitinkamai technologinei operacijai valdyti naudojami iš anksto parengti žemėlapiai; jutiklines (angl. *online* arba *real-time sensor approach*, vok. *Sensornsatz* arba *Echtzeitverfahren*), kai naudojami realiu laiku gauti jutiklių duomenys; kombinuotas, kai kartu naudojami žemėlapiai ir jutiklių teikiami duomenys (Rösch et al., 2005).

Žemėlapišėje TŪ technologijoje duomenų fiksavimas, jų interpretacija (suformuluojant nuro-

dymus žemės ūkio agregatams) ir technologinių operacijų atlikimas vyksta atskirai. TŪ technologinės operacijos atlikimo žemėlapiams sudaryti naudojami ankstesni dirvos agrocheminių savybių arba derlingumo žemėlapiai. Ši TŪ technologija ypač tinka, kai technologines operacijas lemiantys rodikliai (pvz., P ir K kiekis ar dirvos pH) yra palyginti stabilūs. Dažnai šie stabilūs rodikliai naudojami keleto skirtingų technologinių operacijų atlikimo žemėlapiams sudaryti, todėl sumažėja duomenų surinkimo išlaidos (Rösch et al., 2005).

Jutiklių TŪ technologijoje visi procesai (rodiklių matavimas, duomenų apdorojimas ir technologinės operacijos atlikimas) žemės ūkio agregate vyksta beveik vienu metu. Tai reiškia, kad svarbūs parametrai (pvz., maisto medžiagų poreikis) išmatuojami tiesiog lauke ir nedelsiant atliekama atitinkama technologinė operacija (pvz., tręšimas). Kadangi duomenims fiksuoti yra naudojami jutikliai, tai ji dažnai vadinama jutiklių

TŪ technologija. Šiuo atveju sudaryti georeferencinę užduotį, t. y. technologinės operacijos atlikimo žemėlapi, nėra būtinybės. Reikalinga technologinė operacija yra atliekama remiantis svarbiais pasėlių parametrais, pavyzdžiui, augalų apsirūpinimo maisto medžiagomis rodikliais. Ši TŪ technologija ypač gerai tinka tada, kai norima sureaguoti į greitai besikeičiančias dirvos ir augalų savybes, pavyzdžiui, augalų apsirūpinimą azotu arba pasėlio piktžolėtumą (Lillienthal et al., 2012; Siegmann et al., 2013; Lillienthal, 2014).

Kombinuota TŪ technologija apjungia abiejų anksčiau aprašytų technologijų pranašumus.

Augalų išsivystymą ir apsirūpinimą maisto medžiagomis galima nustatyti pagal jų pasipriešinimą lenkimui. Matuojamas pasėlius liečiančios švytuoklės atsilenkimas. Kuo didesnis pasipriešinimas, tuo augalas yra geresnis arba stabilesnis. Šios matavimų vertės priklauso ne tik nuo augalų apsirūpinimo maisto medžiagomis, bet ir nuo naudojamų augimo reguliatorių (Ehlert et al., 2003; Reckleben, 2014).

Augalų optinių savybių jutikliai (pvz., OptRx, YARA N-Sensor & ALS, Crop Circle, CropSpec, Greenseeker ir ISARIA) matuoja šviesos atsispindėjimą nuo augalų arba fluorescenciją (pvz., MiniVeg N, CropSpec) ir pagal nustatytą verčių intensyvumą sprendžia apie pasėlių būklę (Reckleben, 2010, 2014).

Kai augalas maisto medžiagomis apsirūpinęs geriau, atsispindi daugiau šviesos artimųjų infraraudonųjų spindulių srityje (Reusch, 1997).

Tamsiai žalias, gerai maisto medžiagomis apsirūpinęs augalas absorbuoja daugiau mėlynos ir raudonos šviesos. Santykis tarp atsispindėjusių infraraudonųjų ir raudonųjų spindulių dažnai naudojamas kaip biomasės kiekio indikatorius (Thiessen, 2002).

Tyrimų objektas – augalų optinių savybių analizės jutikliai ISARIA ir OptRx.

Tyrimų tikslas – ištirti augalų optinių savybių analizės jutiklių ISARIA ir OptRx panaudojimo įtaką azotinių mineralinių trąšų sąnaudoms vasarinių kviečių pasėliuose.

METODAI IR SĄLYGOS

Ekspimentiniai tyrimai buvo vykdyti 2016, 2017 ir 2018 m. Aleksandro Stulginskio universiteto (nuo 2019 m. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija) bandymų stotyje. 2016 m. tyrimai buvo atlikti 3,74 ha, 2017 m. – 2,93 ha, o 2018 m. – 2,98 ha ploto laukuose pagal schemą:

1. Įprastinė intensyvioji technologija.
2. Tikslioji technologija naudojant augalų optinės analizės jutiklius ISARIA.
3. Tikslioji technologija naudojant augalų optinės analizės jutiklius OptRx.

2016 m. vasarinių kviečių priešėliai buvo vasariniai miežiai, 2017 m. – vasariniai rapsai, o 2018 m. – vasariniai kviečiai. Ražiena apverčiamu plūgu „Kverneland“ buvo suarta 20–25 cm gyliu. Pavasarį dirva sėjai ruošta kombinuotu padargu KLG-6,0. 2016 m. prieš sėją bandymų laukas buvo patręštas pakrikai kompleksinėmis mineralinėmis trąšomis NPK 16–16–16 kintamomis normomis pagal dirvos agrocheminių savybių žemėlapius (vidutiniškai 537 kg ha⁻¹), 2017 m. – kompleksinėmis mineralinėmis trąšomis NPK 6–16–35 (vidutiniškai 257 kg ha⁻¹), o 2018 m. – pakrikai kompleksinėmis mineralinėmis trąšomis NPK 8–20–30 kintamomis normomis pagal dirvos agrocheminių savybių žemėlapius (vidutiniškai 352 kg ha⁻¹) ir pakrikai kompleksinėmis mineralinėmis trąšomis NPK 16–16–16 (200 kg ha⁻¹). 2016 ir 2018 m. sėta sėjama „Kverneland Accord m-drill PRO“ (sėklos norma, atitinkamai, 200 ir 300 kg ha⁻¹), o 2017 m. – ražienine sėjama „Vaderstadt Rapid 300 C Super XL“, kartu lokaliai įterpant 200 kg ha⁻¹ kompleksinių mineralinių trąšų NPK 16–16–16 (sėklos norma 250 kg ha⁻¹). 2016 m. krūmijimosi pabaigoje pagal įprastinę technologiją auginti vasariniai kviečiai barstomąja „Amazone ZA-U“ buvo patręšti pakrikai vienoda 200 kg ha⁻¹, 2017 m. – 100 kg ha⁻¹ amonio salietros norma, o 2018 m. – 200 ir 100 kg ha⁻¹ amonio salietros norma. Tiksliosios žemdirbystės bandymų variantai buvo tręšiami kintamomis amonio salietros normomis, remiantis augalų optinių savybių jutiklių ISARIA ir OptRx teikiamais duomenimis, atsižvelgiant į vasarinių kviečių išsivystymą ir maisto medžiagų poreikį. 2017 m. visas vasarinių kviečių bandymų laukas dar buvo patręštas vienodomis 150 ir 100 kg ha⁻¹ normomis. Visuose vasarinių kviečių bandymų laukuose buvo taikyta įprastinė augalų apsaugos sistema.

Vasarinių kviečių optinių savybių tyrimuose naudoti ISARIA ir OptRx jutikliai. OptRx jutikliai matuoja atsispindėjusius spindulius artimojo infraraudonojo ir raudonojo spektro diapazonuose. Normalusis augmenijos skirtumo indeksas, t. y. paprastas grafinis indikatorius, kuris naudojamas nuotolinio stebėjimo matavimams analizuoti, apskaičiuojamas taip (Baublys ir kt., 2014):

$$\text{NDVI} = \frac{R_{760} - R_{670}}{R_{760} + R_{670}}; \quad (1)$$

R_{760} – atspindėję 760 nm bangos ilgio infraraudonieji spinduliai;

R_{670} – atspindėję 670 nm bangos ilgio raudonos šviesos spinduliai.

NDVI (angl. *Normalized Difference Vegetation Index*) indeksas rekomenduojamas naudoti iki 32 kviečių augimo tarpsnio, o vėlesniuose – NDRE (angl. *Normalized Difference RedEdge Index*). Normalusis augmenijos skirtumo indeksas NDRE, įvertinantis ribą tarp raudonos ir infraraudonos spalvos spindulių, apskaičiuojamas taip:

$$\text{NDRE} = \frac{R_{760} - R_{730}}{R_{760} + R_{730}}; \quad (2)$$

R_{760} – atspindėję 760 nm bangos ilgio infraraudonieji spinduliai;

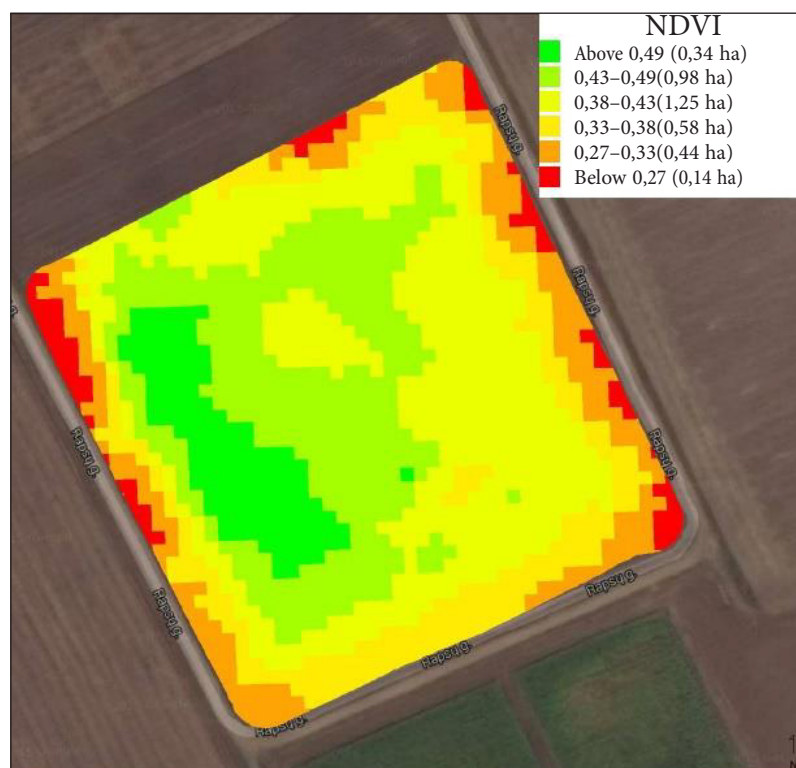
R_{730} – atspindėję 730 nm bangos ilgio raudonos šviesos spinduliai.

Augalų optinių savybių analizės jutikliai OptRx (*AgLeader*, JAV) buvo montuojami ant specialių laikiklių, tvirtinamų prie specialaus rėmo traktoriaus „John Deere 6530“ priekinėje dalyje. Jutikliai virš pasėlio buvo 1,5 m atstumu. Vienu jutikliu skenuojama apie 1,5 m pločio juosta. Mineralinės trąšos buvo paskleidžiamos barstomąja „Amazona ZA-U“.

Vokiečių kompanijos „Fritzmeier Umwelttechnik“ augalų optinių savybių jutikliai ISARIA mato atspindėjusius spindulius infraraudonojo ir raudonojo spektro diapazonuose (630–780 nm). Naudojant išmatuotus duomenis apskaičiuojami biomasės IBI ir vegetacijos IRMI indeksai. Biomasės indeksas IBI įvertina dirvos padengimą, vegetacijos indeksas IRMI – azoto įsisavinimą. Apskaičiuoti biomasės ir vegetacijos indeksai ISARIA terminale panaudojami specialiuose algoritmuose nustatant reikiamą išberti mineralinių trąšų kiekį. Komunikavimui tarp ISARIA jutiklių ir terminalo naudojamas „Bluetooth“ ryšys. Tikslųjų technologijų atveju, visos technologinės operacijos (pasėlių skenavimas, indeksų NDVI ar NDRE, IBI ar IRMI kitimo, lauko tręšimo žemėlapių sudarymas ir tikslusis tręšimas) vyko realiu laiku.

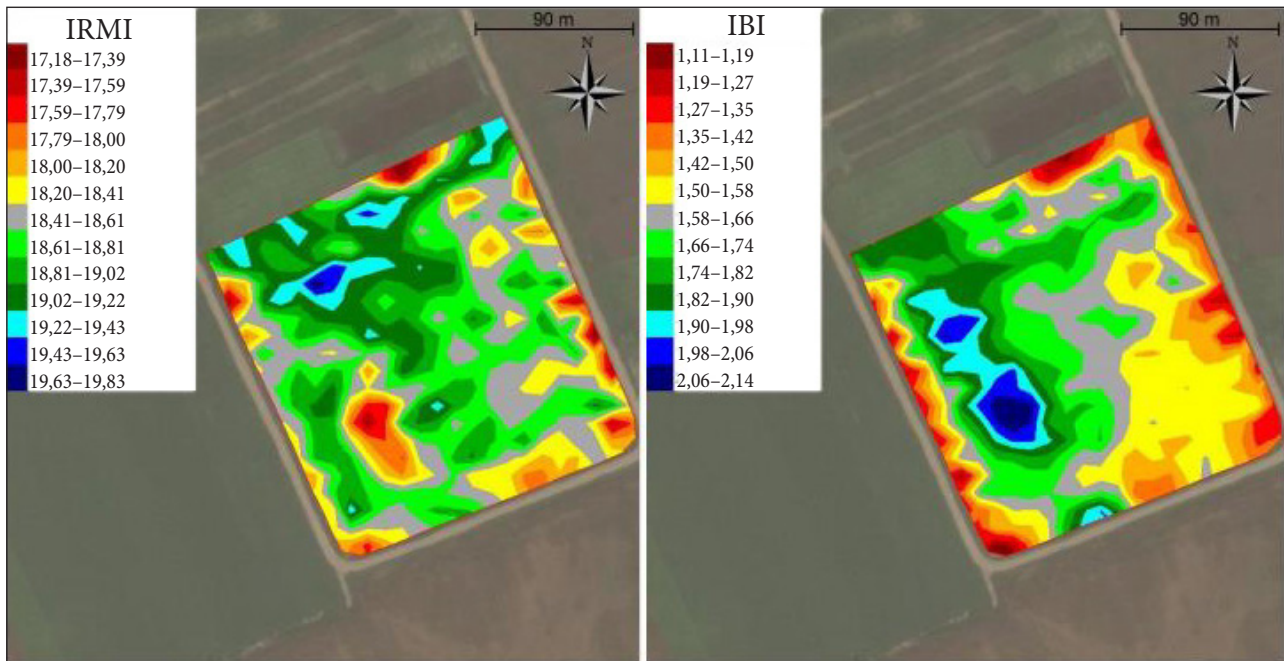
REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

2016 m. prieš antrąją tręšimą vasarinių kviečių būklei nustatyti panaudojus augalų optinių savybių analizės jutiklius OptRx paaiškėjo, kad vasarinių kviečių pasėliai bandymų lauke išsivystę skirtingai (1 pav.). Prasčiausiai (indeksas NDVI nuo 0,27 iki 0,33; 0,59 ha, 15,8 % bandymų lauko ploto) vasariniai kviečiai buvo išsivystę bandymo lauko pakraščiuose. 48,9 % bandymų lauko ploto (1,83 ha)



1 pav. Indekso NDVI kitimo žemėlapis, sudarytas remiantis jutiklių OptRx duomenimis, prieš antrąją vasarinių kviečių tręšimą. ASU bandymų stotis, 2016 m.

Fig. 1. The map of the NDVI index, compiled according to the sensors OptRx data, before the second fertilization of summer wheat, in Aleksandras Stulginskis University Test Station, 2016



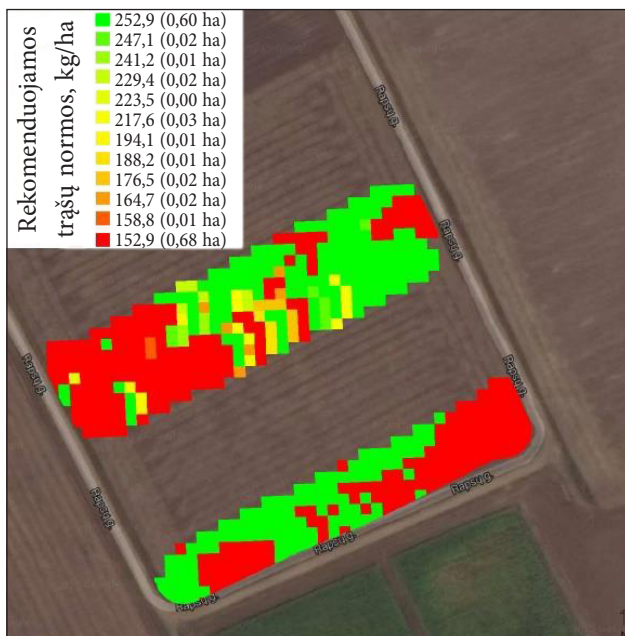
2 pav. Indeksų IRMI ir IBI kitimo žemėlapiai, sudaryti remiantis jutiklių ISARIA duomenimis, prieš antrąją vasarinių kviečių tręšimą. ASU bandymų stotis, 2016 m.

Fig. 2. The maps of the indexes IBI and IRMI, based on ISARIA sensors, before the second spring wheat fertilizer, in Aleksandras Stulginskis University Test Station, 2016

užėmė gerai išsivystę vasariniai kviečiai (indeksas NDVI nuo 0,33 iki 0,429), o 35,3 % (1,32 ha) – labai gerai išsivystę (indeksas NDVI nuo 0,43 iki 0,49). Apskritai indekso NDVI reikšmės šiame bandymų variante kito nuo 0,27 iki 0,49.

Vasarinių kviečių būklės skirtumai buvo nustatyti ir panaudojus augalų optinių savybių analizės jutiklius ISARIA (2 pav.). Prasčiausiai (indeksas

IBI apie 1,05, o indeksas IRMI apie 17) vasariniai kviečiai buvo išsivystę bandymo lauko pakraščiuose. Indekso IBI reikšmės lauke kito nuo 1,05 iki 2,17 (vidurkis 1,61), o indekso IRMI – nuo 17 iki 20,1 (vidurkis 18,65). Iš augalų optinės analizės jutiklių OptRx pateiktų duomenų sudarytas vasarinių kviečių antrojo tręšimo žemėlapis rodo (3 pav.), kad 152,9–164,7 kg ha⁻¹ mineralinių trąšų



3 pav. Vasarinių kviečių, 2016 m. augintų pagal tikslią žemdirbystės sistemą, antrojo tręšimo žemėlapis, sudarytas remiantis augalų optinių savybių analizės jutiklių OptRx duomenimis

Fig. 3. The second fertilization map of spring wheat grown in 2016 by precision agriculture system, composed by the optical properties of the plant analysis data provided by the OptRx sensors

norma reikia tręšti 49,6 %, 176,5–223,5 kg ha⁻¹ norma – 4,9 %, o 229,4–252,9 kg ha⁻¹ norma – 45,5 % šio bandymų varianto lauko. Vidutiniškai į hektarą šiame bandymų variante reikėtų išberti 209 kg mineralinių trąšų, buvo išberta 207 kg amonio salietros, arba 3,5 % daugiau, negu taikant įprastinę intensyviają technologiją.

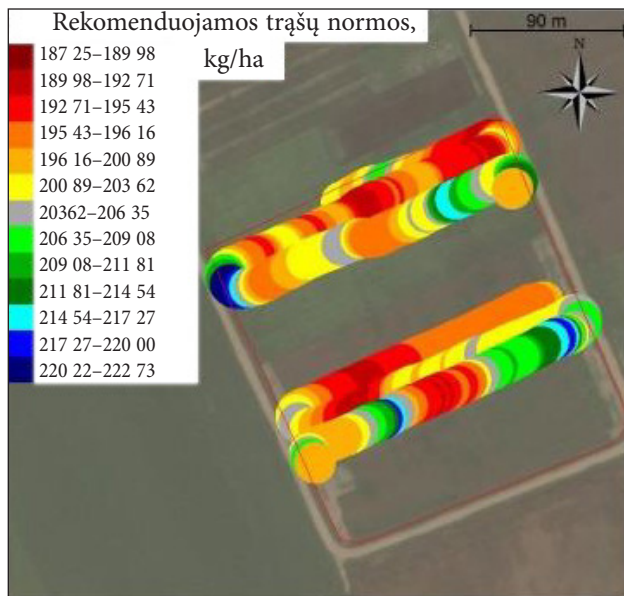
Iš augalų optinės analizės jutiklių ISARIA pateiktų duomenų sudarytas faktinis vasarinių kviečių antrojo tręšimo žemėlapis rodo (4 pav.), kad amonio salietros paskleidimo norma šiame bandymų variante kito nuo 190,1 kg ha⁻¹ iki 250 kg ha⁻¹. Vidutiniškai į hektarą šiame bandymų variante buvo išberta 201 kg mineralinių trąšų, arba 0,5 % daugiau, negu taikant įprastinę intensyviają technologiją.

Vasarinių kviečių būklės skirtumai buvo nustatyti ir 2017 m. (5 pav.). Prasčiausiai (indeksas NDVI nuo 0,18 iki 0,29) vasariniai kviečiai buvo išsivystę taip pat bandymo lauko pakraščiuose. 55,4 % bandymų lauko ploto (1,64 ha) užėmė gerai išsivystę vasariniai kviečiai (indeksas NDVI nuo 0,29 iki 0,41), o 43,3 % (1,28 ha) – labai gerai išsivystę (indeksas NDVI nuo 0,41 iki 0,59). Indekso NDVI reikšmės lauke kito nuo 0,18 iki 0,59.

Vasarinių kviečių būklės skirtumai buvo nustatyti ir panaudojus augalų optinių savybių analizės jutiklius ISARIA (6 pav.). Prasčiausiai (indeksas IBI apie 1,04, o indeksas IRMI apie 17,04) vasariniai kviečiai buvo išsivystę šiaurinėje ir pietvakarinėje bandymo lauko dalyse. Indekso IBI reikšmės lauke kito nuo 1,06 iki 2,97 (vidurkis 1,94), o indekso IRMI – nuo 16,80 iki 21,4 (vidurkis 19,34).

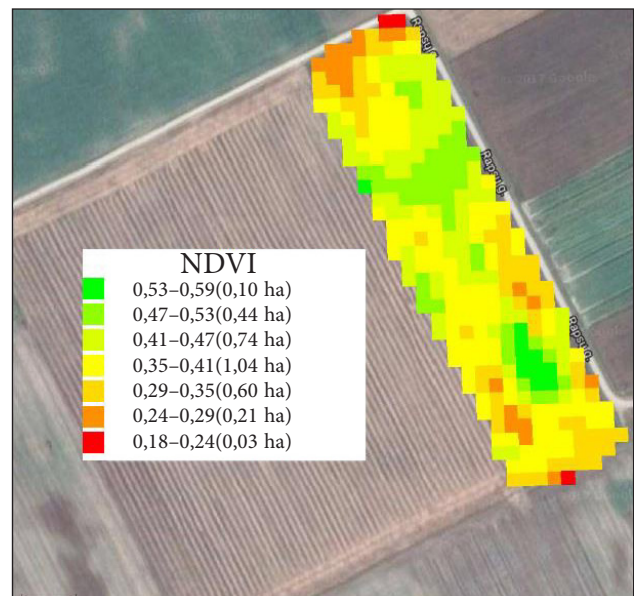
Iš augalų optinės analizės jutiklių OptRx pateiktų duomenų sudarytas vasarinių kviečių antrojo tręšimo žemėlapis rodo, kad maksimalia 100 kg ha⁻¹ mineralinių trąšų norma reikia tręšti 88,1 % bandymų varianto lauko. Minimalia 20,6 kg ha⁻¹ mineralinių trąšų norma reikia tręšti tik 0,1 ha plotą. Vidutiniškai į hektarą šiame bandymų variante reikėtų išberti 92,7 kg mineralinių trąšų, faktiškai buvo išberta 91,4 kg amonio salietros, arba 8,6 % mažiau, negu taikant įprastinę intensyviają technologiją.

Iš augalų optinės analizės jutiklių ISARIA pateiktų duomenų sudarytas faktinis vasarinių kviečių antrojo tręšimo žemėlapis rodo, kad šiame bandymų variante reikia paskleisti nuo 24 iki 120 kg ha⁻¹ amonio salietros. Mažesnėmis, nuo 24



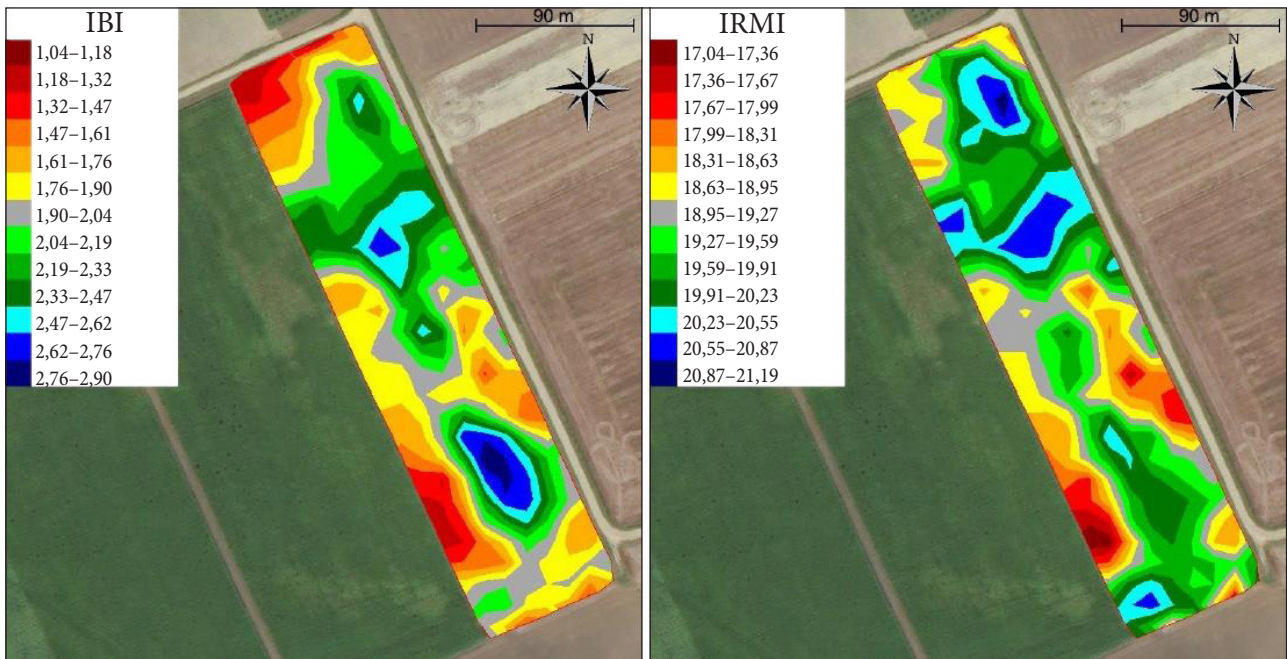
4 pav. Vasarinių kviečių, 2016 m. augintų pagal tiksliąją žemdirbystės sistemą, antrojo tręšimo žemėlapis, sudarytas remiantis augalų optinių savybių analizės jutiklių ISARIA duomenimis

Fig. 4. The second fertilization map for summer wheat grown in 2016 under the precision agriculture system, based on data from the sensors ISARIA for optical plant properties



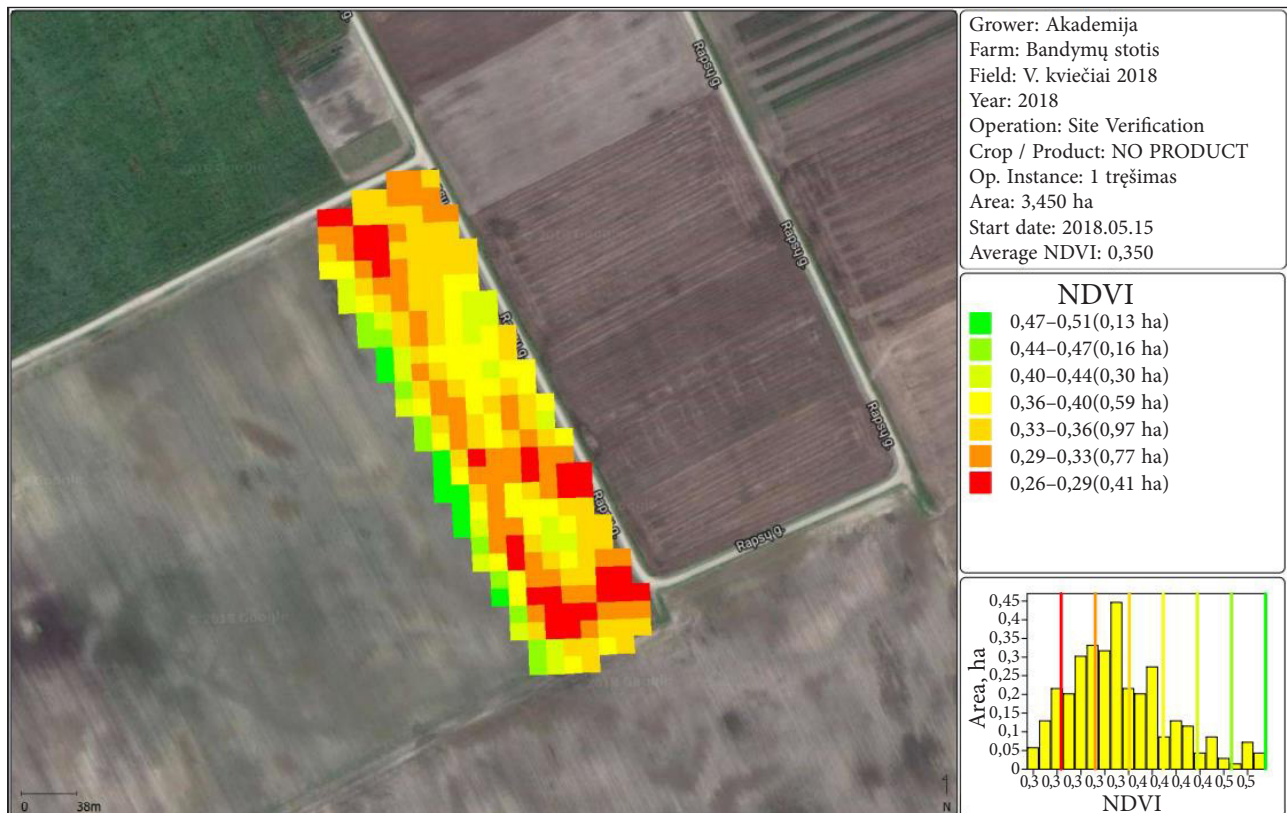
5 pav. Indekso NDVI kitimo žemėlapis, sudarytas iš jutiklių OptRx duomenų, prieš antrąjį vasarinių kviečių tręšimą. ASU bandymų stotis, 2017 m.

Fig. 5. The map of the NDVI index, compiled according to the sensors OptRx data, before the second spring wheat fertilization, in Aleksandras Stulginskis University Test Station, 2017



6 pav. Indeksų IBI ir IRMI kitimo žemėlapiai, sudaryti iš jutiklių ISARIA duomenų, prieš antrąją vasarinių kviečių tręšimą. ASU bandymų stotis, 2017 m.

Fig. 6. Indexes of IBI and IRMI maps, based on sensors ISARIA, before the second spring wheat fertilizer, in Aleksandras Stulginskis University Test Station, 2017



7 pav. Indekso NDVI, nustatyto naudojant augalų optinės analizės jutiklius OptRx, kitimo žemėlapis prieš antrąją vasarinių kviečių tręšimą. ASU bandymų stotis, 2018 m.

Fig. 7. The map of the NDVI index, compiled according to the sensors OptRx data, before the second spring wheat fertilization, in Aleksandras Stulginskis University Test Station, 2018

iki 67 kg ha^{-1} , mineralinių trąšų normomis reikėtų patręšti šiaurinę bandymų lauko dalį. Bandymų lauko viduryje reikėtų išberti nuo 90 iki 120 kg ha^{-1} amonio salietros. Vidutiniškai į hektarą šiame bandymų variante reikėtų išberti $19,28 \text{ kg}$ azoto, skaičiuojant veikliąją medžiagą. Vidutiniškai į hektarą buvo išberta tik $62,8 \text{ kg}$ amonio salietros, arba $37,2 \%$ mažiau, negu taikant įprastinę intensyviąją technologiją.

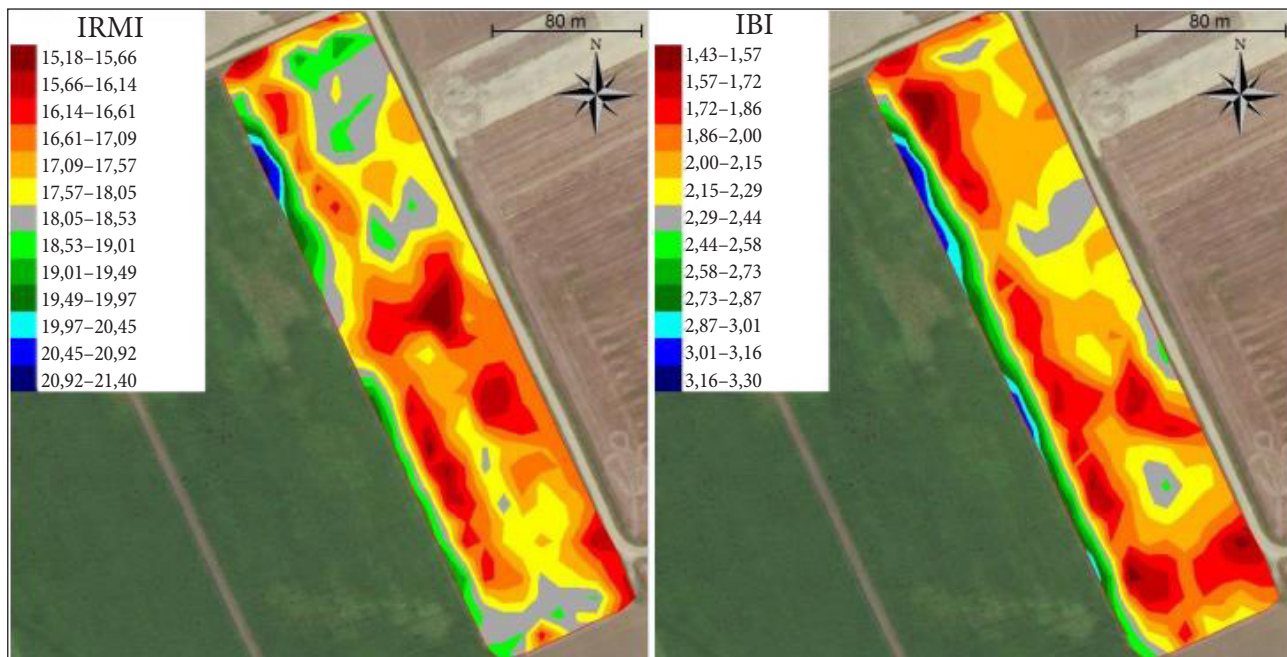
Vasarinių kviečių būklės skirtumai buvo nustatyti ir 2018 m. (7 pav.). Prasčiausiai (indeksas NDVI nuo $0,26$ iki $0,29$) vasariniai kviečiai buvo išsivystę bandymo lauko pakraščiuose. $67,5 \%$ bandymų lauko ploto ($2,33 \text{ ha}$) užėmė gerai išsivystę vasariniai kviečiai (indeksas NDVI nuo $0,29$ iki $0,40$), o $17,1 \%$ ($0,59 \text{ ha}$) – labai gerai išsivystę (indeksas NDVI nuo $0,40$ iki $0,51$). Indekso NDVI reikšmės lauke kito nuo $0,26$ iki $0,51$.

Vasarinių kviečių būklės skirtumai buvo nustatyti ir panaudojus augalų optinių savybių analizės jutiklius ISARIA (8 pav.). Prasčiausiai (indeksas IBI apie $1,38$, o indeksas IRMI apie $14,20$) vasariniai kviečiai buvo išsivystę šiaurinėje ir pietinėje bandymo lauko dalyse. Indekso IBI reikšmės kito nuo $1,38$ iki $3,04$, o indekso IRMI – nuo $14,20$ iki $20,1$.

Iš augalų optinės analizės jutiklių OptRx pateiktų duomenų sudarytas vasarinių kviečių antrojo tręšimo žemėlapis rodo, kad maksimaliomis (288 – 303 kg ha^{-1}) amonio salietros normomis reikia tręšti tik $12,8 \%$ bandymų varianto lauko. Net $97,1 \%$ bandymų varianto lauke reikėtų berti tik $102,9 \text{ kg ha}^{-1}$ amonio salietros. Vidutiniškai į hektarą šiame bandymų variante reikėtų išberti $132,3 \text{ kg}$ amonio salietros, o buvo išberta $127,3 \text{ kg}$.

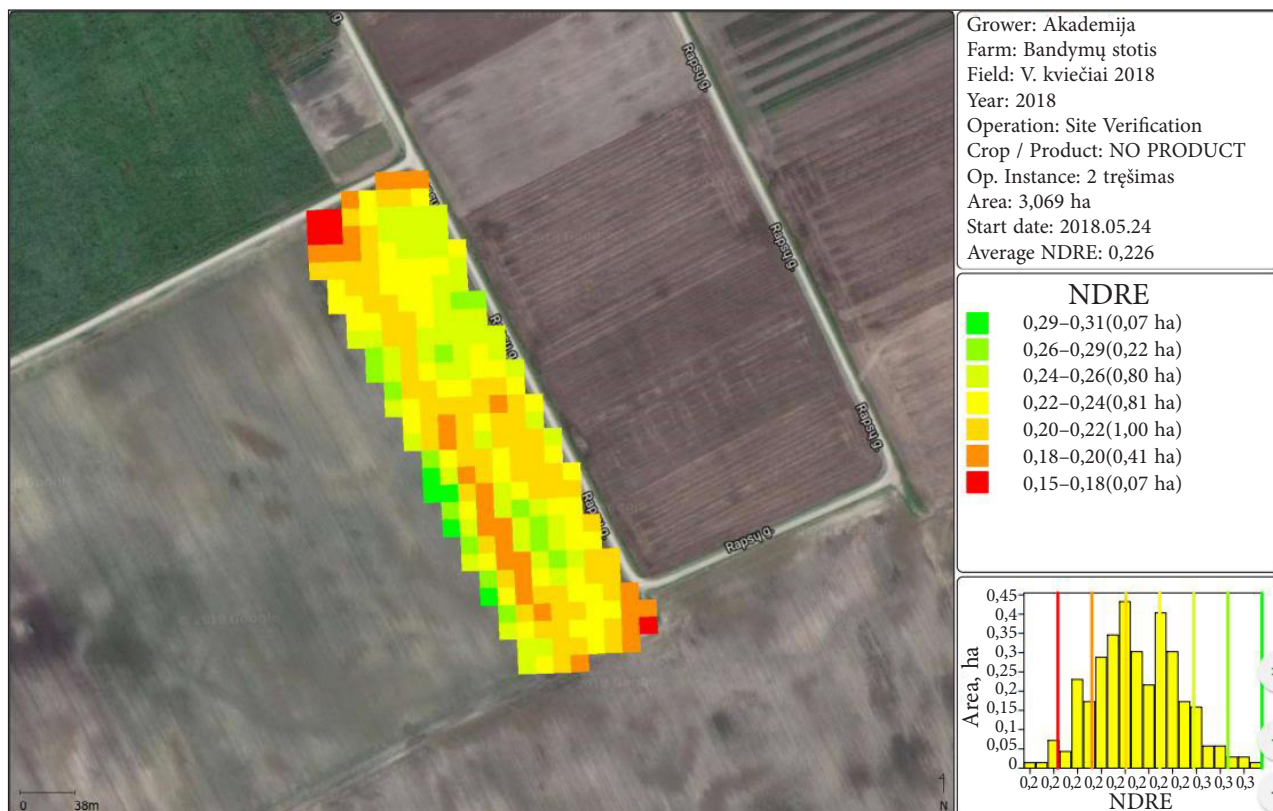
Remiantis augalų optinės analizės jutiklių ISARIA pateiktais duomenimis sudarytas faktinis vasarinių kviečių antrojo tręšimo žemėlapis rodo, kad azoto (veiklioji medžiaga) šiame bandymų variante reikia paskleisti nuo 48 iki 86 kg ha^{-1} . Vidutiniškai į hektarą šiame bandymų variante reikėtų išberti $71,6 \text{ kg}$ azoto, buvo išberta 208 kg .

Prieš trečiąjį tręšimą vasarinių kviečių būklei nustatyti panaudojus augalų optinių savybių analizės jutiklius OptRx paaiškėjo, kad vasarinių kviečių pasėlių išsivystymo skirtumai yra išlikę (9 pav.). Prasčiausiai (indeksas NDRE nuo $0,15$ iki $0,20$) vasariniai kviečiai buvo išsivystę bandymo lauko pakraščiuose. $85,0 \%$ bandymų lauko ploto ($2,61 \text{ ha}$) užėmė gerai išsivystę vasariniai kviečiai (indeksas NDRE nuo $0,20$ iki $0,26$), o $9,5 \%$ ($0,29 \text{ ha}$) – labai gerai išsivystę (indeksas NDRE



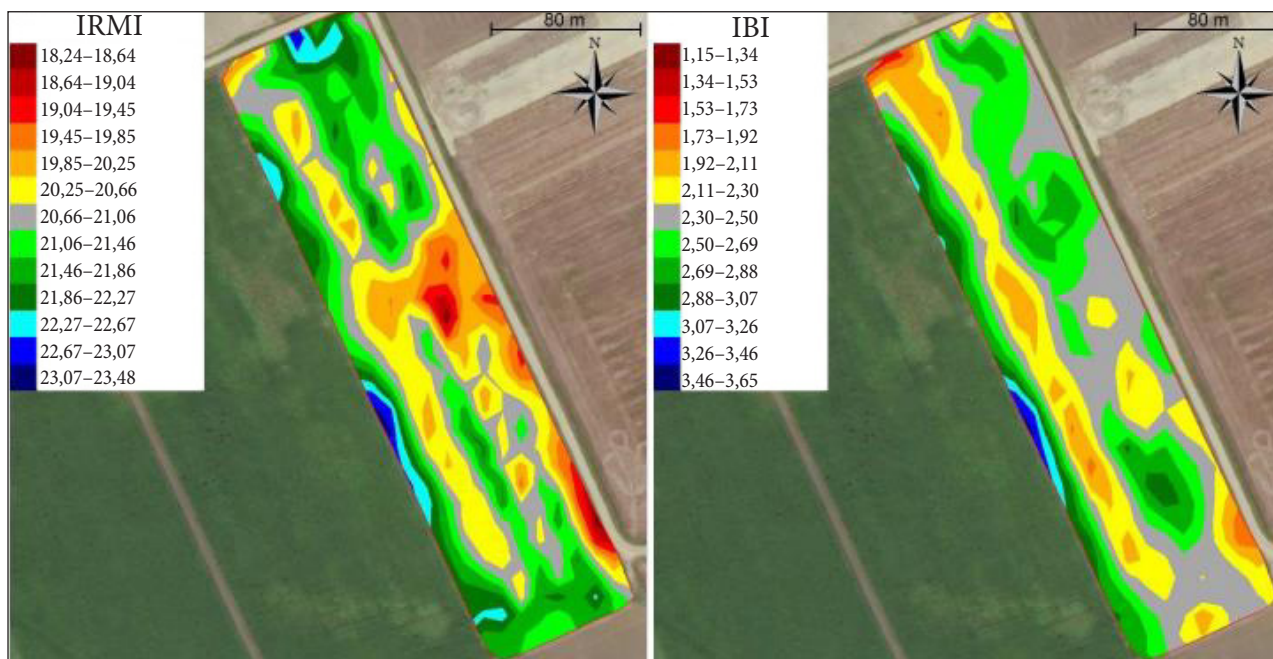
8 pav. Indeksų IRMI ir IBI, nustatytų naudojant augalų optinės analizės jutiklius ISARIA, kitimo žemėlapiai prieš antrąjį vasarinių kviečių tręšimą. ASU bandymų stotis, 2018 m.

Fig. 8. Indexes of IBI and IRMI maps, based on sensors ISARIA, before the second spring wheat fertilizer, in Aleksandras Stulginskis University Test Station, 2018



9 pav. Indekso NDRE, nustatyto naudojant augalų optinės analizės jutiklius OptRx, kitimo žemėlapis prieš trečiąjį vasarinių kviečių tręšimą. ASU bandymų stotis, 2018 m.

Fig. 9. The map of the NDRE index, compiled according to the sensors OptRx data, before the third spring wheat fertilization, in Aleksandras Stulginskis University Test Station, 2018



10 pav. Indeksų IRMI ir IBI, nustatytų naudojant augalų optinės analizės jutiklius ISARIA, kitimo žemėlapiai prieš trečiąjį vasarinių kviečių tręšimą. ASU bandymų stotis, 2018 m.

Fig. 10. Indexes of IBI and IRMI maps, based on sensors ISARIA, before the third spring wheat fertilizer, in Aleksandras Stulginskis University Test Station, 2018

nuo 0,26 iki 0,31). Indekso NDRE reikšmės lauke kito nuo 0,15 iki 0,31.

Vasarinių kviečių būklės skirtumai buvo nustatyti ir panaudojus augalų optinių savybių analizės jutiklius ISARIA (10 pav.). Prasčiausiai (indeksas IBI apie 1,38, o indeksas IRMI apie 14,20) vasariniai kviečiai buvo išsivystę šiaurinėje ir pietinėje bandymo lauko dalyse. Indekso IBI reikšmės lauke kito nuo 1,38 iki 3,04, o indekso IRMI – nuo 14,20 iki 20,1.

Iš augalų optinės analizės jutiklių OptRx duomenų sudarytas vasarinių kviečių trečiojo tręšimo žemėlapis rodo, kad maksimaliomis (123,5–155,9 kg ha⁻¹) amonio salietros normomis reikia tręšti 81,2 % bandymų varianto lauko. Tik į 3,4 % bandymų varianto lauko reikėtų berti nuo 88,2 iki 94,1 kg ha⁻¹ amonio salietros, o 15,38 % – tik 52,9–58,8 kg ha⁻¹. Vidutiniškai į hektarą šiame bandymų variante reikėtų išberti 138,6 kg amonio salietros, buvo išberta 133,6 kg.

Remiantis augalų optinės analizės jutiklių ISARIA duomenimis sudarytas faktinis vasarinių kviečių antrojo tręšimo žemėlapis rodo, kad azoto (veiklioji medžiaga) šiame bandymų variante reikia paskleisti nuo 17 iki 48 kg ha⁻¹. Vidutiniškai į hektarą šiame bandymų variante reikėtų išberti 28,6 kg azoto, buvo išberta 83,5 kg amonio salietros.

Apibendrinant atliktus tyrimus tikslinga paminėti, kad panašius rezultatus yra gavę ir kiti tyrėjai. S. M. Samborskio ir kitų mokslininkų (2016) tyrimai rodo, kad tręšimas kintamomis N trąšų normomis ne visada garantuoja efektyvesnę mineralinių trąšų naudojimą, didesnę grūdų derlingumą ir jų kokybę (pvz., baltymingumą). S. K. Kendall ir kitų tyrėjų (2017) teigimu, augalų optinių savybių jutikliai ISARIA gali būti naudojami įterpian N trąšas ir augimo reguliatorius žieminių rapsų pasėliuose, nes indeksai IRMI ir IBI koreliuoja su augalų aprūpinimu azotu. J. Mezera ir kiti mokslininkai (2019) nustatė, kad ISARIA jutiklių naudojimas gali sumažinti azotinių mineralinių trąšų sąnaudas o P. Scharfas ir kt. (2011), kad augalų optinių savybių panaudojimas N trąšų sąnaudas sumažino apie 25 %, arba 16 kg N/ha. S. Savarajanas ir kiti mokslininkai (2020) teigė, kad augalų optinių savybių jutikliai OptRx gali būti panaudojami ne tik kukurūzų ir kviečių, bet ir sojos pasėliuose. Tačiau ankstyvaisiais sojų augimo tarpsniais naudojant jutiklius nebuvo nustatyta jokių esminių augalų iš-

sivystymo skirtumų. Šie mokslininkai mano, kad, norint patvirtinti augalų optinių savybių jutiklių naudą sojų pasėlius tręšiant kintamomis N trąšų normomis, reikalingi tolimesni išsamesni moksliniai tyrimai.

IŠVADOS

1. Naudojant augalų optinių savybių jutiklius OptRx ir ISARIA galima nustatyti vasarinių kviečių pasėlių išsivystymo skirtumus.

2. Taikant tikslųjį vasarinių kviečių tręšimą ir naudojant augalų optinės analizės jutiklius OptRx mineralinių trąšų sąnaudos 2016 m. buvo 3,5 % didesnės, o 2017 ir 2018 m. – 1,1 ir 3,5 % mažesnės, negu taikant įprastinę intensyviają technologiją. Naudojant jutiklius ISARIA mineralinių trąšų sąnaudos 2016 ir 2018 m. buvo 0,5 ir 0,6 % didesnės, o 2017 m. – 4,6 % mažesnės, negu taikant įprastinę intensyviają technologiją. Nedidelius mineralinių trąšų sąnaudų skirtumus bandymų variantuose galima paaiškinti nežymiais dirvožemio agrocheminių savybių ir augalų optinių savybių skirtumais bandymų laukuose.

Gauta 2020 04 20
Priimta 2021 01 21

LITERATŪRA

1. Baublys A., Zinkevičius R., Steponavičius D., Bartkus T. 2014. Augalų lapų optinių savybių analizės jutiklių OptRx naudojimas tręšiant kviečius. *Žmogaus ir gamtos sauga*. T. 20(1). P. 86–89.
2. Ehlert D., Hammer V., Adamer R. 2003. On-line sensor pendulum-meter for determination of plant mass. *Precision Agriculture*. Vol. 4. P. 139–148.
3. Kendall S. L., Storer K., Berry P. M. 2017. Measuring canopy size and nitrogen content in oilseed rape for variable plant growth regulator and nitrogen fertiliser application. *Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture (ECPA)*. Vol. 8. No. 2. P. 299–302.
4. Lillienthal H. 2014. Optische Sensoren in der Landwirtschaft: Grundlagen und Konzepte. *Journal für Kulturpflanzen*. Vol. 66(2). P. 34–41.
5. Lillienthal H., Richter N., Jarmer T., Siegmann B., Selige T., Höfle B. 2012. Simulation landwirtschaftlicher Online-Sensorik mit Hilfe abbildender Hyperspektraldaten. *Bornimer Agrartechnische Berichte*. Vol. 78. P. 64–72.
6. Mezera J., Lukas V., Elbl J., Kintl A., Smutny V. 2019. Evaluation of variable rate application of fertilizers by proximal crop sensing and yield

- mapping. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM: Proceedings*. Sofia, Bulgaria. Vol. 19. Issue 2.2. P. 831–840.
7. Reckleben Y. 2014. Sensoren für die Stickstoffdüngung – Erfahrungen in 12 Jahren praktischem Einsatz. *Journal für Kulturpflanzen*. Vol. 66(2). P. 42–47.
 8. Reckleben Y. 2010. Sensorschwemme – Stickstoffdüngung mit Sensoren, welche gibt es und was können sie. *Neue Landwirtschaft*. Vol. 4. P. 81–84.
 9. Reusch S. 1997. *Entwicklung eines reflexionsoptischen Sensors zur Erfassung der Stickstoffversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen*. Dissertation, VDI-MEG No. 303. Kiel.
 10. Romaneckas K., Zinkevičius R., Steponavičius D., Maziliauskas A., Butkus V., Marcinkevičienė A. 2015. Principles of precision agriculture in on-farm spring wheat fertilization experiment. *Engineering for Rural Development: Proceedings of 14th International Scientific Conference*. Jelgava. Vol. 14. P. 558–563.
 11. Rösch Ch., Dusseldorp M., Meyer R. 2005. *Precision Agriculture*. TAB-Arbeitsbericht. No. 106. Berlin. 208 p.
 12. Samborski S. M., Gozdowski D., Stepien M., Wals O. S., Leszczyńska E. 2016. On-farm evaluation of an active optical sensor performance for variable nitrogen application in winter wheat. *European Journal of Agronomy*. Vol. 74. P. 56–67.
 13. Savarajan S., Maharlooei M., Kandel H., Buetow R., Nowatzki J., Bajwa S. 2020. Evaluation of OptRx™ active optical sensor to monitor soybean response to nitrogen inputs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol. 100. Issue 1. P. 154–160.
 14. Scharf P., Shannon D., Palm H., Sudduth K., Drummond S., Kitchen N., Mueller L., Hubbard V., Oliveira L. 2011. Sensor-based nitrogen applications out-performed producer-chosen rates for corn in on-farm demonstrations. *Agronomy Journal*. Vol. 103. Issue 6. P. 1683–1691.
 15. Schilling G., Kerschberger M., Kummer K.-F., Peschke H. 2000. *Pflanzenernährung und Düngung*. Stuttgart (Hohenheim): Eugen Ulmer. 464 p.
 16. Siegmann B., Jarmer T., Lillenthal H., Richter N., Selige T., Höfle B. 2013. Erfassung des Stickstoffgehalts von Weizen aus bodengestützt erhobenen hyperspektralen Bilddaten. *Bornimer Agrartechnische Berichte*. Vol. 81. P. 133–140.
 17. Thiessen E. 2002. *Optische Sensortechnik für den teilflächenspezifischen Einsatz von Agrarchemikalien*. Dissertation, VDI-MEG No. 399. Kiel.
 18. Tilling A. K., O'Leary G. J., Ferwerda J. G., Jones S. D., Fitzgerald G. J., Rodriguez D., Belford R. 2007. Remote sensing of nitrogen and water stress in wheat. *Field Crops Res.* Vol. 104. P. 77–85.

Remigijus Zinkevičius

THE USE OF CROP SENSORS FOR PRECISE FERTILIZATION

Summary

The paper presents the results of research on the use of ISARIA and OptRx sensors for the analysis of plant optical properties for precision fertilization. It was found that using the ISARIA and OptRx sensors of plant optical properties, it was possible to detect differences in the development of spring wheat crops. Consumption of OptRx mineral fertilizers in 2016 using precision fertilization of spring wheat and using plant optical analysis sensors was 3.5% higher, and in 2017 and 2018, respectively, 1.1 and 3.5% lower than in conventional intensive technology. Consumption of ISARIA mineral fertilizers in 2016 and 2018 using sensors were 0.5 and 0.6%, respectively, higher, and in 2017 it was 4.6% lower than in conventional intensive technology.

Keywords: sensors, fertilization