

Andrzej Wójtowicz<sup>1</sup>, Marek Wójtowicz<sup>2</sup>, Jan Piekarczyk<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instytut Ochrony Roślin w Poznaniu,

<sup>2</sup> Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Oddział w Poznaniu

<sup>3</sup> Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu

## Zastosowanie teledetekcji do monitorowania i oceny produktywności plantacji rzepaku

### Application of the remote sensing to monitoring of oilseed rape crop and estimation of its productivity

**Słowa kluczowe:** badania teledetekcyjne, charakterystyki spektralne roślin, wskaźniki wegetacyjne, rzepak ozimy

Celem pracy było przedstawienie możliwości wykorzystania metod teledetekcyjnych w badaniach nad rzepakiem ozimym. Teledetekcja znalazła zastosowanie w monitorowaniu plantacji i prognozowaniu plonów roślin rzepaku. Wiedza na temat właściwości spektralnych roślin jest wykorzystywana także w badaniach nad określeniem zachwaszczenia plantacji rzepaku i ograniczeniem zużycia herbicydów w uprawie tej rośliny. Teledetekcję wykorzystuje się również przy określeniu potrzeb nawozowych rzepaku oraz ustaleniu optymalnych terminów nawadniania rzepaku jarego, a także do oceny porażenia plantacji rzepaku przez choroby.

**Key words:** remote sensing, spectral characteristic of plants, vegetation indices, winter oilseed rape

Remote sensing involves acquiring, processing and interpreting images that record the interaction between electromagnetic energy and matter.

Interactions of electromagnetic radiation and plants are mostly determined by optical features of leaves dependent on chlorophyll content, water content and structures of plant cells. The unique spectral characteristic of plants in the visible and the near infrared wavelengths were used to develop vegetation indices defined as radiometric measure used to estimate vigour of plants. Vegetative indices were incorporated to the studies on plant productivity, water resources management, land use and the protection of the environment. In agriculture the vegetation indices are used for crops monitoring, biomass estimation and forecasting of yields. Biomass of oilseed rape crop was estimated with the help of remote sensing by Brown et al. (1997). The studies of Basnyat and McConeya, and Piekarczyk et al. (2004) show that remote sensing helps to monitor oilseed rape crop and predict its yield. The experiments which focused on comparison of remote sensing results with the yield of oilseed rape proved that interaction between the studied elements was strongly influenced by the time of recording of measurements. Knowledge about spectral reflectance is also used for estimation of fields infestation by weeds and helps to diminish the number of herbicide applications (Deguise et al. 1999) and for mapping weeds in fallow fields after the harvest of oilseed rape (Lamb and Weedon 1998). Remote sensing is also very helpful in determining fertilisation requirements of oilseed rape (Behrens et al. 2004) and early detection of crop water stress (Mogensen et al. 1996).

## Wstęp

---

Badania teledetekcyjne polegają na pozyskiwaniu, przetwarzaniu i interpretacji danych charakteryzujących badany obiekt pod względem ilości odbitego i emitowanego promieniowania elektromagnetycznego. Odbite promieniowanie z różnych zakresów widma może być rejestrowane przez czujniki umieszczone na pokładzie satelity lub samolotu. Naziemne pomiary spektralne wykonuje się korzystając ze spektrometrów polowych. Badania teledetekcyjne umożliwiają wykonanie zdalnych pomiarów dużych powierzchni bez konieczności uszkodzenia roślin.

Proporcje ilościowe między absorbowanym i odbijanym przez rośliny promieniowaniem elektromagnetycznym wynikają głównie z właściwości optycznych liści determinowanych przez obecność chlorofilu, wody i struktur komórkowych. Chlorofil najsilniej absorbuje fale czerwone o długości około 670 nm i niebieskie o długości około 450 nm. Zawarta w liściach woda absorbuje fale z zakresu środkowej podczerwieni, z maksimum dla fal o długości około 1400 oraz 1900 nm, a struktury komórkowe silnie odbijają fale z zakresu od 700 do 1100 nm (bliska podczerwień). Oprócz budowy anatomicznej o właściwościach spektralnych liści decydują inne czynniki: Thomas i Oether (1972) zaliczają do nich grubość liścia, Gausman i in. (1969) — stopień szorstkości powierzchni liści, a Gausman i in. (1971) wiek fizjologiczny liści i ich położenie na roślinie.

## Wskaźniki wegetacyjne

---

Charakterystyczne dla roślin zjawisko występowania dużego kontrastu pomiędzy odbiciem promieniowania widzialnego i promieniowania z zakresu bliskiej podczerwieni zostało wykorzystane do opracowania tzw. wskaźników wegetacyjnych, definiowanych jako bezjednostkowe miary radiometryczne służące do oceny aktywności wegetacyjnej roślin. Według Huete i Justice (1999) wskaźnik wegetacyjny powinien spełniać dwie funkcje. Po pierwsze winien odznaczać się wysoką korelacją z parametrami biofizycznymi roślin, wśród których najczęściej wymienione są: biomasa, indeks powierzchni liści (LAI) oraz zaabsorbowane fotosyntetycznie aktywne promieniowanie (PAR). Po drugie powinien ograniczyć wpływ czynników zarówno tych związanych z obiektem, jak i czynników zewnętrznych utrudniających interpretację pozyskiwanych danych teledetekcyjnych. Do pierwszej kategorii należą gleba, rzeźba terenu oraz nieaktywne fotosyntetycznie elementy roślin, a do drugiej — atmosfera, kąt padania promieni słonecznych oraz kąt pod jakim czujnik rejestruje odbite promieniowanie.

Najpowszechniej stosowanym wskaźnikiem wegetacyjnym jest NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) zaproponowany przez Rouse'a i in. (1974), definiowany jako iloraz różnicy i sumy ilości odbitego promieniowania

z zakresu bliskiej podczerwieni i promieniowania czerwonego (tab. 1). Podstawę tej formuły stanowi duża absorpcja (małe odbicie) światła czerwonego przez chlorofil i niska absorpcja (wysokie odbicie i transmisja) promieniowania z zakresu bliskiej podczerwieni przez zielone liście (Avery i Berlin 1992). Teoretycznie NDVI przyjmuje wartości z zakresu od  $-1$  do  $+1$ . W praktyce wartości NDVI najczęściej wynoszą od  $-0,1$  do  $+0,7$ . Chmury, woda, śnieg i lód warunkują ujemne wartości NDVI, gleba od  $-0,1$  do  $+0,1$ . Większe wartości NDVI uzyskuje się przy pomiarach roślinności.

Tabela 1

Wzory obliczania wskaźników wegetacyjnych — *Formulae for vegetation indices*

$$\begin{aligned} \text{NDVI} &= \frac{R_{850} + R_{650}}{R_{850} - R_{650}} \\ \text{RVI} &= \frac{R_{850}}{R_{650}} \\ \text{ELAI} &= -0,441 + 0,285 \times \frac{R_{850}}{R_{650}} \\ \text{STVI} &= \frac{R_{1650} \times R_{650}}{R_{850}} \\ \text{SAVI} &= \frac{(1+L) \times (R_{850} - R_{650})}{R_{850} + R_{650} + L}; L=(0-1) \\ \text{MSAVI} &= \frac{2 \times R_{850} + 1 - \sqrt{(2 + R_{850} + 1)^2 - 8 \times (R_{850} - R_{650})}}{2} \end{aligned}$$

Innym często stosowanym wskaźnikiem wegetacyjnym jest RVI (Ratio Vegetation Index) wyrażający proporcje pomiędzy ilością odbitego promieniowania z zakresu bliskiej podczerwieni i czerwieni (Jordan 1969). Gęsty łąn roślin o dużej biomase daje wysokie wartości RVI, wynoszące ponad 20, a gleba niskie, około 0. Tło glebowe jest czynnikiem ograniczającym przydatność wskaźników wegetacyjnych do obserwacji roślinności częściowo pokrywającej glebę. Huete (1988) opracował SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), wzbogacając formułę charakterystyczną dla NDVI o zmienną  $L$ , korygującą wpływ gleby na wielkość odbicia spektralnego. Kolejnym krokiem w tym kierunku były badania Qi i in. (1995), którzy opracowali funkcję służącą do obliczania zmiennej  $L$ , a zmodyfikowany przy jej pomocy SAVI został nazwany Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI). Niestety ujemną stroną SAVI oraz jego pochodnych jest wrażliwość na zmiany zachodzące w atmosferze (Qi i in. 1994). Systematyczne badania, których celem było rozwiązanie tego problemu zaowocowały opracowaniem nowych wskaźników o następujących nazwach: Atmospherically Resistant

Vegetation Index (Kaufman i Tanre 1992) oraz Global Environment Monitoring Index (Pinty i Verstraete 1992). Niestety, jak się później okazało, oba wskaźniki, opracowane w celu zmniejszenia zakłóceń wynikających ze zmian w atmosferze, są bardziej wrażliwe na zakłócenia spowodowane zmiennością gleby (Qi i in. 1994). Oznacza to konieczność poszukiwania nowych rozwiązań uwzględniających zarówno wpływ gleby, jak i atmosfery. Przykładem ilustrującym ten kierunek badań są prace Huete i Liu (1994), którzy do korekty zmienności glebowej zastosowali funkcję L, zaproponowaną przez Qi i in. (1994), a do normalizacji wpływów atmosfery posłużyli się metodą zaproponowaną przez Kaufmana i Tanre (1992). W wyniku tych zabiegów powstał nowy wskaźnik pod nazwą Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index.

### Wykorzystanie teledetekcji w badaniach nad rzepakiem ozimym

---

Wskaźniki wegetacyjne są szeroko stosowane w badaniach nad produktywnością roślinności, charakterystyką zasobów wodnych, oceną zagrożenia występowania kłesk żywiolowych czy realizacji przedsięwzięć podejmowanych na rzecz ochrony środowiska. W rolnictwie są wykorzystywane między innymi do monitorowania upraw roślin, szacowania ich biomasy i prognozowania wysokości plonów. W porównaniu z innymi roślinami uprawnymi, takimi jak zboża, kukurydza czy soja, właściwości optyczne rzepaku są poznane w małym stopniu. Opracowanie metod teledetekcyjnych, które umożliwiłyby ocenę stanu uprawy rzepaku i jej zachwaszczenia, czy określenie potrzeb nawozowych i nawodnieniowych oraz poziomu opanowania przez choroby wymaga szczegółowych badań nad właściwościami spektralnymi tej uprawy.

Badania korelacji pomiędzy biomasą roślin rzepaku i wielkością odbicia promieniowania z zakresu widzialnego i bliskiej podczerwieni zajmowali się Brown i in. (1997). W wyniku przeprowadzonych doświadczeń autorzy ci wykazali, że współczynnik determinacji charakteryzujący związek biomasy rzepaku jarego i odbicia fali o długości 766 nm wynosił 0,846 na poziomie istotności  $p < 0,0001$ . Autorzy tych badań stwierdzili ponadto wysoką wartość współczynnika determinacji, wynoszącą 0,885 na poziomie istotności  $p < 0,001$ , pomiędzy wartościami odbicia spektralnego fali o 766 nm i powierzchnią liści rzepaku.

Wiedza na temat właściwości spektralnych roślin wykorzystywana jest także w badaniach nad określaniem zachwaszczenia plantacji rzepaku oraz ograniczeniem zużycia herbicydów w uprawie tej rośliny. Deguise i in. (1999) wykazali różnice w odbiciu spektralnym pomiędzy roślinami rzepaku ozimego i *Cirsium arvense* oraz potwierdzili możliwość zastosowania pomiarów spektralnych do oceny zachwaszczenia pola rzepaku ozimego.

Lamb i Weedon (1998) sprawdzili możliwość wykorzystania danych teledetekcyjnych do opracowania mapy rozmieszczenia *Panicum effusum* R. Br. na polu ugorowanym po zbiorze rzepaku ozimego. W swoich badaniach zastosowali radiometr polowy PSII, za pomocą którego mierząc ilość odbitego promieniowania uzyskali charakterystyki spektralne gleby, ścierniska i chwastów. Wartości odbicia spektralnego od ścierniska rzepakowego były wyższe niż od chwastów w zakresie niebieskim, zielonym i czerwonym. W zakresie bliskiej podczerwieni odbicie spektralne od chwastów było istotnie wyższe niż od gleby i ścierniska. Obraz badanego pola zarejestrowano z pułapu lotniczego z zastosowaniem następujących filtrów: 440 nm (niebieski), 550 nm (zielony), 650 nm (czerwony) i 770 nm (bliska podczerwień). Dla każdego piksela obliczono wskaźnik NDVI. Jednocześnie opracowano mapę zachwaszczenia analizowanego pola metodą tradycyjną na podstawie obserwacji polowych. W przeprowadzonych badaniach zgodność pomiędzy rzeczywistym rozmieszczeniem *P. effusum* na analizowanym polu z rozmieszczeniem określonym za pomocą wskaźnika NDVI wynosiła 87%.

Ponieważ właściwości spektralne roślinności zmieniają się w czasie wraz z ich zmianami morfologicznymi i fizjologicznymi, pomiary spektralne znajdują zastosowanie w monitorowaniu plantacji roślin. Piekarczyk (2001) opisał charakterystyki spektralne rzepaku ozimego w 10 fazach wegetacyjnych w ciągu całego sezonu wegetacyjnego. Wielkość odbicia fal zmieniała się wraz ze zmianami stopnia pokrycia gleby przez rośliny oraz wielkości masy zielonej roślin.

Autor ten określił także związek między stopniem pokrycia gleby przez rośliny rzepaku wysianego w różnych terminach a wielkością odbicia fal z zakresu czerwieni i bliskiej podczerwieni widma elektromagnetycznego (Piekarczyk 2000). Według tego autora można było odróżnić spektralnie od siebie uprawy rzepaku wysiane w odstępach pięciodniowych.

Różnicujący wpływ odmiany na wyniki pomiarów spektralnych wykazały badania Behrensa i in. (2004) oraz Piekarczyka i in. (2004). Behrens i in. (2004) wykazali ponadto przewagę wskaźników RIP i SAVI nad NDVI w rozróżnianiu odmian rzepaku ozimego, gdy były zaspokojone potrzeby roślin odnośnie nawożenia azotowego. Pomiary odbicia spektralnego od roślin rzepaku wykonane w badaniach Piekarczyka i in. (2004) przy użyciu polowego radiometru wykazały zróżnicowanie odmianowe wynikające z odmiennego tempa rozwoju roślin. Wyniki pomiarów spektralnych poletek rzepaku przedstawiono w postaci spektralnych współczynników odbicia fal widzialnych ( $SWO_{650}$ ), z zakresu bliskiej podczerwieni ( $SWO_{850}$ ) i środkowej podczerwieni ( $SWO_{1650}$ ) oraz trzech wskaźników wegetacyjnych: NDVI, ELAI, STVI. Pomiar przeprowadzono w fazie pełni pąkowania, kwitnienia i na początku dojrzewania rzepaku. Zróżnicowanie odmianowe poletek rzepaku wynikające z odmiennego tempa wzrostu roślin stwierdzono już w fazie pąkowania.

Pomiary spektralne znajdują również zastosowanie w badaniach nad określeniem potrzeb nawozowych roślin rzepaku ozimego. Realizacji tego celu służyły między innymi eksperymenty Behrensa i in. (2004), polegające na ocenie wpływu nawożenia azotowego na wartości trzech wskaźników wegetacyjnych: RIP, SAVI i NDVI. Nawożenie azotowe okazało się czynnikiem istotnie różnicującym wartości badanych wskaźników. W warunkach znacznego niedoboru opadów w okresie wiosenno-letniej wegetacji przeprowadzone pomiary spektralne wykazały istotne różnice w wielkości wskaźników NDVI i ELAI pomiędzy poletkami nawiezionymi dawkami 60 i 100 a 180 i 220 kg N·ha<sup>-1</sup> (Piekarczyka i in. 2004).

Badania teledetekcyjne dostarczają również istotnych informacji, które doskonale nadają się do wykorzystania przy prognozowaniu plonów roślin. Poszukiwanie zależności pomiędzy plonem pszenicy, grochu i rzepaku a wartościami wskaźnika NDVI było treścią badań prowadzonych w Kanadzie przez Basnyata i McConkeya (2001). Istotny związek między wartościami tego wskaźnika obliczonego ze zdjęć wykonanych przez czujniki satelitów IKONOS i Landsat TM z plonami wymienionych roślin był zależny od terminów przeprowadzenia pomiarów. Również Piekarczyk i in. (2004) wskazują na znaczenie fazy rozwojowej, w jakiej znajdują się rośliny podczas wykonywania obserwacji teledetekcyjnych, na podstawie których prognozuje się plon. Najwyższą korelację wyników pomiarów spektralnych z plonem stwierdzono, gdy pomiary przeprowadzono w fazie pełni pąkowania rzepaku. Wyniki badań własnych potwierdzają tę zależność (tab. 2). Najsilniejszą korelację z plonem wykazał wskaźnik NDVI, a następnie wskaźniki RVI i ELAI. Współczynnik korelacji tych wskaźników z plonem wynosił odpowiednio 0,59, 0,58 i 0,58.

Tabela 2

Współczynniki korelacji pomiędzy plonem a trzema wskaźnikami wegetacyjnymi  
*Correlation coefficients between the yield and three vegetation indices*

Wskaźniki wegetacyjne <i>Vegetation indices</i>	Faza rozwoju rzepaku — <i>Growing stage of winter oilseed rape</i>		
	5–6 liści <i>5–6 leaves</i>	pełnia pąkowania <i>fullness of budding</i>	początek rozwoju łuszczyń <i>beginning of silique development</i>
NDVI	0,36	0,59**	0,11
ELAI	0,31	0,58**	0,14
RVI	0,31	0,58**	0,14

\* współczynniki korelacji istotne przy  $p < 0,05$  — *correlation coefficients significant at  $p < 0.05$*

\*\* współczynniki korelacji istotne przy  $p < 0,01$  — *correlation coefficients significant at  $p < 0.01$*

Badania Mogensena i in. (1996) nad zastosowaniem teledetekcji do kontroli stanu plantacji rzepaku jarego wskazują na możliwość wykorzystania wskaźników wegetacyjnych do określania optymalnych terminów sztucznego nawadniania tej rośliny. Autorzy opracowali relatywny wskaźnik odbicia RRI (Relative Reflectance

Index), będący ilorazem wskaźnika odbicia (RIa) zmierzonego dla roślin uprawianych w warunkach suszy oraz wskaźnika odbicia (RIr) obliczonego na podstawie wyników pomiarów spektralnych przeprowadzonych na roślinach, których potrzeby wodne zostały całkowicie zaspokojone. Wskaźniki RIa oraz RIr wyrażają proporcje wielkości odbicia promieniowania z zakresu bliskiej podczerwieni do odbicia promieniowania widzialnego. Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły na wykazanie związku pomiędzy niedoborem wody w glebie a wartościami relatywnego wskaźnika odbicia (RRI). Autorzy opracowania proponują rozpocząć sztuczne nawadnianie rzepaku gdy wartość PRI obliczona na podstawie przeprowadzonych pomiarów spektralnych w łanie tej rośliny będzie mniejsza od jedności.

Teledetekcja znajduje zastosowanie również w badaniach fitopatologicznych. Prace Nilssona (1985) dowodzą możliwości oceny porażenia rzepaku przez zgniliznę twardzikową *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary i wercyciliozę *Verticillium dahliae* Kleb. *Verticillium albo-athrum* Reinke et Berth.

---

## Podsumowanie

Teledetekcja znalazła zastosowanie w monitorowaniu plantacji i prognozowaniu plonów roślin rzepaku. Wiedza na temat właściwości spektralnych roślin jest wykorzystywana także w badaniach nad określaniem zachwaszczenia plantacji rzepaku i ograniczeniem zużycia herbicydów w uprawie tej rośliny. Teledetekcję wykorzystuje się również przy określeniu potrzeb nawozowych rzepaku oraz ustaleniu optymalnych terminów nawadniania rzepaku jarego, a także do oceny porażenia plantacji rzepaku przez choroby.

---

## Literatura

- Avery T.E., Berlin L.B. 1992. Fundamentals of remote sensing and airphoto interpretation. New York, Macmillan, pp. 472.
- Basnyat P., McConkey B. 2001. Using remote sensing information to identify in-field crop productivity. <http://paridss.usask.ca/precisionfarm/factsheets/fs17.pdf>.
- Behrens T., Kraft M., Wiesler F. 2004. Influence of measuring angle, nitrogen fertilization and variety on spectral reflectance of winter oilseed rape canopies. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167: 99-105.
- Brown R.J., Staenz K., McNairn H., Hopp B., Van Acker R. 1997. Application of high resolution optical imagery to precision agriculture. Proceedings of Geomatics in the era of radarsat conference, Ottawa.
- Deguisse J.C., Staenz K., Lefebvre J. 1999. Agricultural applications of airborne hyperspectral data; weed detection. <http://sst.rncan.gc.ca/esic/ccrpub-cctpub/pdf/4635.pdf>.
- Gausman H.W., Allen W.A., Cardenas R. 1969. Reflectance of cotton leaves and their structure. *Remote Sensing of the Environment*, 1: 19-22.

- Gausman H.W., Allen W.A., Wiegand C.L., Escobar D.E., Rodrigues R.R., Richardson A.J. 1971. The leaf mesophyll of twenty crops, their light spectra and optical and geometrical parameters. SWC Research Report, 423, Weslaco, Texas.
- Huete A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of the Environment*, 25: 295-309.
- Huete A., Justice C. 1999. MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document, Greenbelt: NASA Goddard Space Flight Center, <http://modarch.gsfc.nasa.gov/MODIS/LAND/#vegetation-indices>, 129 pp.
- Huete A.F., Liu H.Q. 1994. An error and sensitivity analysis of the atmospheric- and soil-correcting variations of the Normalized Difference Vegetation Index for the MODIS-EOS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32 (4): 897-905.
- Jordan C.F. 1969. Derivation of leaf area index from quality measurements of light on the forest floor. *Ecology*, 50: 663-666.
- Kaufman Y., Tanre D. 1992. Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing of the Environment*, 30: 261-270.
- Lamb D.W., Weedon M. 1998. Evaluating the accuracy of mapping weeds in fallow fields using airborne digital imaging. *Panicum effusum* in oilseed rape stubble. *Weed Research*, 38: 443-451.
- Mogensen V.O., Jensen C.R., Mortensen G., Thage J.H., Koribidis J., Ahmed A. 1996. Spectral reflectance index as an indicator of drought of field grown oilseed rape (*Brassica napus* L.). *European Journal of Agronomy*, 5: 125-135.
- Nilsson H. 1985. Remote sensing of oil seed rape infected by *Sclerotinia* stem rot and *Verticillium wilt*. *Vaxtskyddsrapporter Jordbruk*, 33: 33.
- Piekarczyk J. 2000. Spektralna ocena przygotowania rzepaku do przezimowania. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 10: 60-1: 60-7.
- Piekarczyk J. 2001. Temporal variation of the winter rape crop spectral characteristics. *International Agrophysics*, 15: 101-107.
- Piekarczyk J., Wójtowicz M., Wójtowicz A. 2004. Wpływ nawożenia azotowego i odmian na charakterystyki spektralne łanu rzepaku ozimego. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, XXV (1): 280-291.
- Pinty B., Verstraete M. 1992. On the design and validation of surface bidirectional reflectance and albedo models. *Remote Sensing of the Environment*, 41: 155-167.
- Qi J., Chehbouni J.Q., Huete A.R., Kerr Y.H., Sorooshian S. 1994. A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 48: 119-126.
- Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351, 3010-3017.*
- Thomas J.R., Oerther G.F. 1972. Estimating nitrogen content of sweet pepper leaves by reflectance measurements. *Agronomy, J.* 64: 11-13.