



کشاورزی دقیق

(مفاهیم و روش‌های کشاورزی مکان‌ویژه)

Hermann J. Heege

ترجمه:

ترجم مصری گندشمین
مصطفی مصطفایی
عبدالمجید معین‌فر





کشاورزی دقیق

(مفاهیم و روش‌های کشاورزی مکان‌ویژه)



Hermann J. Heege

ترجمه:

دکتر ترجم مصری گندشمین

استاد بیوسیستم دانشگاه محقق اردبیلی

دکتر مصطفی مصطفایی

دانشیار بیوسیستم دانشگاه رازی

دکتر عبدالمجید معین‌فر

کشاورزی دقیق

مفاهیم و روش‌های کشاورزی مکان‌ویژه

ترجمه:

دکتر ترحم مصری گندشمین

دکتر مصطفی مصطفایی

دکتر عبدالمجید معین‌فر

ویراستار: دکتر یوسف عباسپور گیلانده / صفحه‌آرا: فرشته خدایاری / طرح جلد: رضا رسولزاده



شابک نسخه الکترونیکی: 978-622-7258-35-6

شابک نسخه چاپی: 978-622-5874-32-9

www.UMA.ac.ir/press

mesrightm@uma.ac.ir

0098 914 305 7284

تمامی حقوق این اثر محفوظ است. تکثیر یا تولید مجدد آن کلاو جزئا و به هر صورت (چاپ، کپی، نسخه الکترونیکی و ...) بدون اجازه مکتوب صاحب اثر ممنوع است.

چاپ اول تابستان ۱۴۰۲ قیمت ۳,۶۰۰,۰۰۰ ریال

عنوان و نام پدیدآور: کشاورزی دقیق (مفاهیم و روش‌های کشاورزی مکان‌ویژه) / مولف [صحیح: ویراستار] هرمن جی، هیگ؛ مترجمان: ترحم مصری گندشمین، مصطفی مصطفایی، عبدالمجید معین‌فر.

مشخصات ظاهری: ۴۶۲ ص.

شابک: 978-622-5874-32-9

عنوان اصلی: Precision in crop farming: site specific concepts and sensing methods

عنوان دیگر: کشاورزی دقیق

موضوع: کشاورزی دقیق؛ کشاورزی - نوآوری؛ کشاورزی - ماشین‌آلات؛ فرآورده‌های زراعی - نوآوری

Precision farming; Agricultural innovations; Agricultural machinery; Crops -- Technological innovations

شناسه افزوده: مصری گندشمین، ترحم، ۱۳۵۷ - مترجم.

مصطفایی، مصطفی، ۱۳۵۸ - مترجم.

معین‌فر، عبدالمجید، ۱۳۶۳ - مترجم.

رده بندی کنگره: S ۴۹۴/۵

رده بندی دیویی: ۶۳۱

شماره کتابشناسی ملی: ۹۳۰۷۸۹۵

تقدیم به معلم

واستاد گرانقدرم

پروفسور حمیدرضا قاسم‌زاده



تقدیم به هر که با جهان آشتی است
در جنگ و جنون، ناگهان آشتی است

گر جمله‌ی خلق دشمنی انگیزند
او دوستی است و او همان آشتی است



جهان شاهد روزانه ۲۰۰,۰۰۰ نفر افزایش جمعیت است و انتظار می‌رود در سال ۲۰۳۰ جمعیت جهان بالغ بر هشت و نیم میلیارد نفر شود که ۵/۶ میلیارد نفر از این جمعیت را مصرف‌کنندگان به خود اختصاص خواهند داد. پیش‌بینی می‌شود اگر تولید مواد غذایی با فناوری امروز ادامه یابد، برای پاسخگویی به جمعیت ۹/۱۵ میلیاردی جهان در سال ۲۰۵۰، به وسعتی دو برابر کره زمین نیاز باشد! در این راستا کشورهای مختلف اقداماتی را در دستور کار قرار داده‌اند و نتیجه تغییر رویکرد سیاست‌گذاران، کشاورزی را در اکثر نقاط جهان دستخوش تحولات زیادی کرده است. قانون‌گذاران و مردان سیاست، یارانه‌های کشاورزی را از تولید دور و به سمت حمایت از عرضه محصولات، کالاها و خدمات عمومی سوق داده‌اند؛ درحالی‌که برای همگام شدن با رشد جمعیت جهانی و تقاضای غذا، افزایش تولید مساله حیاتی و بحرانی است.

دانشمندان برای غلبه بر بخشی از چالش پیش روی، راهکار "**کشاورزی دقیق**" را پیشنهاد نموده‌اند. واژگان کشاورزی دقیق یا "**کشاورزی مکان‌ویژه**"، اغلب به استفاده از تجهیزات گران‌قیمت، از قبیل سامانه‌های ماهواره‌ای، پایش‌کننده عملکرد، کارنده یا پاشنده‌های نرخ‌متغیر تعبیر می‌شود. همچنین تصور می‌شود که کشاورزی دقیق به مزارع بزرگ اختصاص دارد که درواقع این چنین نیست.

ساده‌ترین امکان کشاورزی دقیق را می‌توان به‌صورت مواردی برشمرد که کشاورزی را دقیق‌تر و منظم‌تر می‌کنند. این ایده وقتی صحبت از رشد محصول زراعی و دامی می‌شود، با کمی کردن و تطبیق تیمارها به‌صورت تابعی از تنوع درون مزرعه، تغییرات رشد محصول یا دام بروز می‌یابد. کشاورزی دقیق به‌واسطه سازگاری با محیط‌زیست، رویکرد دوستدار محیط‌زیست قلمداد می‌شود که ضمن بهبود کیفیت و کمیت محصول، هزینه عملیات کشاورزی و دستکاری در طبیعت را نیز به حداقل می‌رساند. کشاورزی مکان‌ویژه به‌طور عموم این رویکرد را در مزرعه و زراعت دنبال می‌کند، درحالی‌که "**دام‌پروری دقیق**" (PLF)، جنگلداری دقیق، ماهیگیری دقیق و ... در گستره کشاورزی دقیق قرار می‌گیرند. کشاورزی مکان‌ویژه (زراعت) و دام‌پروری دقیق دو رویکرد مختلف کشاورزی دقیق هستند.

کشاورزی دقیق بر سه پایه کلیدی اطلاعات، فناوری و مدیریت استوار است. در نگاه سیستمی کشاورزی مکان‌ویژه را می‌توان رویکردی مدیریتی تعبیر کرد تا رویکرد صرفاً فناورانه؛ هرچند نباید فراموش کرد که استفاده از فناوری‌های مختلف، اعمال مدیریت مکان‌ویژه را تسهیل می‌کند. روش‌های ارزان‌قیمت و فناوری‌های ساده، اعمال مدیریت مکان‌ویژه را در مزارع کوچک امکان‌پذیر و سودآور کرده است. بطور کلی فناوری‌ها برای غلبه بر چالش‌ها، تسهیل رفتار و افزایش عملکرد پیشرفت می‌کنند.

فناوری‌های کشاورزی دقیق را می‌توان در دو کلاس ارزیابی نمود: فناوری‌های تضمین‌کننده دقت اندازه‌گیری متغیر و فناوری‌هایی که بهبود عملیات کشاورزی را تضمین می‌کنند. کشاورزان می‌توانند یک سیستم پشتیبانی تصمیم با ترکیب این دو فناوری تهیه کنند تا ضمن صرفه‌جویی در مصرف غیرضروری نهاده‌ها، سودشان را نیز حداکثر کنند. کشاورزی دقیق مفهومی فراتر از کشاورزی مکان‌ویژه است که طیف وسیعی از متغیرها را در برمی‌گیرد.

زنجیره تأمین مواد غذایی به شدت متأثر از توافقات تجاری بین‌المللی است و رقابت بین تولیدکنندگان نقش مهمی در نوع و شدت عملیات کشاورزی و تصمیم‌گیری‌های مرتبط برجای می‌گذارد. نکته بسیار مهمی که در این قبض و بسط رقابت‌های تجاری باید مدنظر قرار گیرد، امنیت غذایی مصرف‌کننده یا امنیت غذایی درازمدت جامعه است که نباید به خطر بیفتد. اطمینان از سلامت زنجیره تأمین به شرط شفافیت کل زنجیره، منابع مصرفی و افراد سهامدار در تولید و عرضه مواد غذایی امکان‌پذیر است. کشاورزی دقیق با امکان‌پذیر کردن ثبت و حفظ سوابقی چون خواص محصول، محیط رشد، فرایندها، شرایط نگهداری و سایر عوامل، می‌تواند آگاهی مصرف‌کننده از سلامت زنجیره تأمین را تضمین نماید.

این کتاب برخی از مهم‌ترین فناوری‌های کشاورزی مکان‌ویژه را در حصول اطمینان از دقت و بهبود عملکرد مزرعه مرور می‌کند. انتظار می‌رود استادان، دانشجویان، مهندسان بیوسیستم و سایر دست‌اندرکاران کشاورزی دقیق با استفاده از مطالب کتاب حاضر که توسط متخصصان برجسته کشور در این عرصه به رشته تحریر درآمده است، بتوانند تا حدودی به چالش‌هایی که شرایط اقلیمی به بخش کشاورزی کشور تحمیل می‌کند، فائق آیند.

پروفسور حمیدرضا قاسم‌زاده

استاد گروه مهندسی بیوسیستم

دانشگاه تبریز

فهرست مطالب



| | |
|---|----|
| پیشگفتار..... | ۲ |
| مقدمه..... | ۱۹ |
| ناهمگنی در مزارع: مفاهیم پایه..... | ۲۳ |
| ۱-۲ قدرت تفکیک تغییرات..... | ۲۳ |
| ۲-۲ سمی‌واریناس و سمی‌وریوگرام..... | ۲۷ |
| ۳-۲ اندازه سلول..... | ۲۹ |
| ۴-۲ پردازش و تنظیم وضوح..... | ۳۳ |
| سنجده‌های الکترومغناطیسی..... | ۳۹ |
| ۱-۳ مبانی سنجده‌های الکترومغناطیسی..... | ۴۰ |
| ۲-۳ تابش، بازتاب، جذب و انتقال پرتوها..... | ۴۲ |
| ۳-۳ پنجره اتمسفری و ابرها..... | ۴۴ |
| ۴-۳ سنجش ماهواره‌ای، پلتفرم‌های هوایی و ماشین‌های کشاورزی..... | ۴۶ |
| ۵-۳ استفاده از ماکروویو یا رادار به‌جای امواج مرئی یا فرسرخ..... | ۴۹ |
| ۱-۳ کنترل مبتنی بر نقشه یا مبتنی بر حسگر ماشین‌های در حال حرکت..... | ۵۳ |
| ۲-۳ سیستم‌های تعیین موقعیت مکانی..... | ۵۶ |
| ناوبری دقیق ماشین‌های کشاورزی..... | ۶۵ |
| ۱-۴ اصول ناوبری..... | ۶۵ |
| ۲-۴ روش‌های ناوبری مبتنی بر GNSS..... | ۶۹ |
| ۳-۴ هزینه‌های ناوبری GNSS..... | ۷۴ |
| ۴-۴ مشکلات و راه‌حل‌ها ناوبری در مزارع شیب‌دار..... | ۷۶ |
| ۱-۴-۴ تراکتورها و ادوات خودکششی..... | ۷۶ |
| ۲-۴-۴ ادوات سوار و کششی..... | ۸۱ |
| ۵-۴ کنترل دقیق عملیات کشاورزی..... | ۸۳ |
| سنجش ویژگی‌های خاک..... | ۸۷ |
| ۱-۵ سنجش توپوگرافی (مساحی)..... | ۸۸ |
| ۲-۵ سنجش ویژگی‌های خاک به روش حجمی..... | ۹۲ |
| ۱-۲-۵ روش‌های سنجش هدایت الکتریکی..... | ۹۷ |

۹۸..... ۱-۲-۵ روش‌های مبتنی بر تماس مستقیم با خاک

۹۹..... ۲-۱-۲-۵ روش‌های مبتنی بر القای الکترومغناطیسی

۱۰۱..... ۳-۱-۲-۵ عمق سنجش و لایه‌های خاک

۱۰۷..... ۲-۲-۵ هدایت الکتریکی، ویژگی‌های خاک و عملکرد

۱۰۹..... ۱-۲-۲-۵ رسانایی الکتریکی و ویژگی‌های خاک در مناطق مرطوب

۱۱۲..... ۲-۲-۲-۵ رسانایی الکتریکی و ویژگی‌های خاک در مناطق خشک

۱۱۵..... ۳-۲-۲-۵ رسانایی الکتریکی و عملکرد محصول در مناطق مرطوب

۱۱۷..... ۴-۲-۲-۵ چشم‌انداز استفاده از هدایت الکتریکی

۱۲۰..... ۳-۲-۵ سنجش آب بر اساس گذردهی (ذخیره انرژی) و ظرفیت خازنی

۱۲۰..... ۱-۳-۲-۵ مبانی

۱۲۶..... ۲-۳-۲-۵ سنجش ماهواره‌ای رطوبت خاک

۱۳۱..... ۳-۲-۲-۵ سنجش رطوبت مبتنی بر ثابت گذردهی توسط ماشین‌های کشاورزی

۱۳۳..... ۴-۲-۲-۵ سنجش رطوبت مبتنی بر روش خازنی توسط ماشین‌های کشاورزی

۱۳۵..... ۳-۳-۵ سنجش ویژگی‌های خاک سطحی مبتنی بر بازتاب

۱۳۷..... ۱-۳-۵ مبانی سنجش سطح

۱۴۰..... ۲-۳-۵ نتایج آزمایشگاهی سنجش سطح

۱۴۵..... ۳-۳-۵ نتایج مزرعه‌ای سنجش سطح

۱۵۰..... ۴-۵ خلاصه ..

۱۵۷..... سنجش خواص محصول

۱۵۸..... ۱-۶ مبانی سنجش توسط بازتاب‌های مرئی و فروسرخ

۱۶۴..... ۲-۶ تعریف شاخص بازتاب

۱۶۹..... ۱-۲-۶ دقت سنجش کلروفیل

۱۷۱..... ۳-۶ تخمین عملکرد محصول مبتنی بر بازتاب

۱۷۷..... ۴-۶ سنجنده فلورسانسی

۱۸۰..... ۱-۴-۶ سنجش فلورسانس در شرایط پایدار

۱۸۴..... ۲-۴-۶ سنجش فلورسانس در شرایط ناپایدار

۱۸۵..... ۳-۴-۶ فلورسانس یا بازتاب

۱۸۷..... ۵-۶ سنجش رطوبت در دسترس گیاه به کمک پرتوهای فروسرخ

۱۸۸..... ۱-۵-۶ سنجش رطوبت توسط بازتاب نزدیک فروسرخ و موج کوتاه

۱۹۲..... ۲-۵-۶ سنجش رطوبت با استفاده از اشعه فروسرخ حرارتی

۱۹۶..... ۶-۶ سنجش خواص گیاهان توسط امواج ماکروویو

۲۰۷..... خاک‌ورزی مکان‌ویژه

۲۰۸..... ۱-۷ نیاز به خاک‌ورزی

۲۰۹..... ۲-۷ خاک‌ورزی اولیه

۲۱۰..... ۱-۲-۷ عمق خاک‌ورزی اولیه

۲۱۷..... ۲-۲-۷ کنترل مکان‌ویژه عمق خاک‌ورزی اولیه

۲۱۷..... ۱-۲-۲-۷ الگوریتم کنترلر

۲۲۰..... ۲-۲-۲-۷ مشکلات اقتصادی

۲۲۰..... ۳-۷ خاک‌ورزی ثانویه

| | |
|-----|--|
| ۲۲۱ | سنجش فیزیکی خاک ۱-۳-۷ |
| ۲۲۲ | سنجش ساختار فیزیکی خاک به کمک نیروی فشاری وارده بر ساقه کولتیواتور ۱-۳-۷ |
| ۲۲۴ | سنجش ساختار فیزیکی خاک با استفاده از نیروهای ضربه‌ای ۲-۱-۳-۷ |
| ۲۲۸ | کاربرد و پیامد سنجش ساختار فیزیکی خاک ۳-۱-۳-۷ |
| ۲۳۰ | دقت عمق آماده‌سازی بستر بذر ۲-۳-۷ |
| ۲۳۲ | خاک‌ورزی آبی و خاک‌ورزی کلشی ۴-۷ |
| ۲۳۷ | پیش‌نیاز، پیامد و چشم‌انداز بی‌خاک‌ورزی ۵-۷ |
| ۲۴۵ | کاشت مکان‌ویژه بذر |
| ۲۴۶ | ۱-۸ نرخ بذر یا دانسیته کاشت |
| ۲۴۸ | ۱-۱-۸ کنترل مکان‌ویژه نرخ کاشت |
| ۲۵۱ | ۲-۸ یکنواختی توزیع بذر |
| ۲۵۴ | ۳-۸ عمق کاشت |
| ۲۵۵ | ۱-۳-۸ کنترل عمق کاشت بذر |
| ۲۶۲ | ۴-۸ کم‌خاک‌ورزی، مدیریت بقایا و کاشت |
| ۲۶۳ | ۱-۴-۸ دیسک‌های عمودی، ردیف تمیز یا کارنده بین ردیفی |
| ۲۶۶ | ۲-۴-۸ کاشت بذر درون کشت پوششی |
| ۲۶۷ | ۳-۴-۸ کاشت بذر و اندازه بقایا |
| ۲۶۹ | ۴-۴-۸ کاشت در زیر شیاریازکن |
| ۲۷۳ | کود دهی مکان‌ویژه |
| ۲۷۴ | ۱-۹ کود دهی بر اساس میزان مصرف ماده مغذی توسط محصول کشت قبلی |
| ۲۷۷ | ۲-۹ کود دهی مبتنی بر سنجنده الکترودهای یون انتخابی |
| ۲۷۷ | ۱-۲-۹ اصول |
| ۲۷۹ | ۲-۲-۹ سنجش pH و مواد مغذی خاک مرطوب |
| ۲۸۴ | ۳-۲-۹ سنجش نیترات عصاره خاک |
| ۲۸۸ | ۴-۲-۹ شرایط و چشم‌انداز سنجش |
| ۲۹۱ | ۳-۹ کود دهی بر اساس بازتاب نوری خاک |
| ۲۹۱ | ۱-۳-۹ مقدمه |
| ۲۹۵ | ۲-۳-۹ سنجش خواص بافری |
| ۲۹۶ | ۳-۳-۹ سنجش فسفر خاک |
| ۳۰۱ | ۴-۳-۹ سنجش پتاسیم و نیترات |
| ۳۰۳ | ۴-۹ کود دهی نیتروژن بر اساس پایش وضعیت گیاه در طول رشد |
| ۳۰۶ | ۱-۴-۹ اصول سنجش نیتروژن بر اساس روش بازتاب |
| ۳۱۰ | ۲-۴-۹ شاخص استاندارد سنجش بازتاب نور طبیعی |
| ۳۱۲ | ۱-۲-۴-۹ علل کاهش دقت شاخص‌های استاندارد در نور طبیعی |
| ۳۱۴ | ۲-۲-۴-۹ دستورالعمل‌های سنجش با نور طبیعی |
| ۳۱۷ | ۳-۴-۹ سنجش نیتروژن بر اساس انعکاس نور مصنوعی |
| ۳۲۰ | ۱-۳-۴-۹ تعریف شاخص بازتابی جدید به‌جای شاخص‌های متداول |
| ۳۲۴ | ۴-۴-۹ خاک یا گیاه در میدان دید |
| ۳۲۶ | ۵-۴-۹ سنجش نیتروژن توسط فلورسانس |

| | |
|-----|--|
| ۳۳۱ | ۶-۴-۹ سنجش نیتروژن بر اساس مقاومت خمشی یا ارتفاع محصول |
| ۳۳۲ | ۷-۴-۹ اندازه سلول یا قدرت تفکیک‌پذیری |
| ۳۳۶ | ۸-۴-۹ تأخیر زمانی و افست مکانی عمگرهای مکان‌ویژه |
| ۳۳۸ | ۹-۴-۹ سنجنده‌ها و کنترلر کودپاش نیتروژن |
| ۳۳۸ | ۱-۹-۴-۹ پیش‌زمینه زراعی |
| ۳۳۹ | ۲-۹-۴-۹ محدودکردن نرخ و شیب‌خط کنترل |
| ۳۴۲ | ۳-۹-۴-۹ کنترل مبتنی بر بهبود کیفیت محصول |
| ۳۴۳ | ۴-۹-۴-۹ کنترل مبتنی بر شاخص کفایت |
| ۳۴۵ | ۱۰-۴-۹ رابطه بین نیتروژن و آب |
| ۳۴۷ | ۱۱-۴-۹ مزایا، هزینه و صرفه اقتصادی |
| ۳۴۷ | ۱-۱۱-۴-۹ مزایا |
| ۳۵۲ | ۲-۱۱-۴-۹ هزینه و صرفه اقتصادی |

| | |
|-----|--|
| ۳۶۱ | کنترل مکان‌ویژه علف‌های هرز |
| ۳۶۲ | ۱-۱۰ مقدمه |
| ۳۶۳ | ۲-۱۰ نقشه‌برداری علف‌هرز |
| ۳۶۴ | ۱-۲-۱۰ طیف‌سنج‌ها |
| ۳۶۷ | ۲-۲-۱۰ سنجنده فلورسانسی |
| ۳۶۸ | ۳-۲-۱۰ تجزیه‌وتحلیل تصویر دیجیتالی بر اساس ویژگی‌های شکل |
| ۳۶۸ | ۱-۳-۲-۱۰ مفاهیم اولیه سنجش و پردازش |
| ۳۷۳ | ۲-۳-۲-۱۰ شناسایی و طبقه‌بندی گونه‌های گیاهی |
| ۳۷۵ | ۳-۱۰ پویایی زمانی و مکانی جمعیت علف‌هرز |
| ۳۸۱ | ۴-۱۰ کنترل مکان‌ویژه علف‌هرز |
| ۳۸۴ | ۵-۱۰ چشم‌انداز و دورنما |

| | |
|-----|--|
| ۳۹۱ | سم‌پاشی مکان‌ویژه قارچ‌کش |
| ۳۹۲ | ۱-۱۱ تیمار مکان‌ویژه قارچ |
| ۳۹۳ | ۲-۱۱ مفهوم پیشگیری کل منطقه بر اساس زیست‌توده |
| ۳۹۵ | ۳-۱۱ سم‌پاشی نقطه‌ای با سنجنده‌های بازتابی |
| ۳۹۵ | ۱-۳-۱۱ رویکرد دقیق میدان دید |
| ۳۹۶ | ۲-۳-۱۱ طیف و شاخص‌های بازتاب |
| ۳۹۹ | ۴-۱۱ سنجش نقطه‌ای بر اساس خاصیت فلورسانس |
| ۳۹۹ | ۱-۴-۱۱ اندازه‌گیری غیرمستقیم با حسگر In-Situ |
| ۴۰۲ | ۲-۴-۱۱ اثر متقابل قارچ و گیاه و فیزیولوژی گیاهان آلوده |
| ۴۰۳ | ۳-۴-۱۱ شاخص‌های فلورسانس مرتبط با عفونت‌های قارچی |
| ۴۰۵ | ۴-۴-۱۱ بحث و مشکلات اجرایی |
| ۴۰۷ | ۵-۴-۱۱ حسگرهایی برای پژوهش بیشتر |
| ۴۰۸ | ۵-۱۱ تمایز بین کمبود نیتروژن و بیماری قارچی |

| | |
|-----|------------------------------|
| ۴۱۵ | نقشه عملکرد مکان‌ویژه |
| ۴۱۶ | ۱-۱۲ مقدمه |

| | |
|----------|---|
| ۴۱۶..... | ۲-۱۲ اصول سنجش و ثبت مکان ویژه عملکرد |
| ۴۱۸..... | ۳-۱۲ سنجش عملکرد محصولات دانه‌ای |
| ۴۲۴..... | ۴-۱۲ سنجش عملکرد علوفه |
| ۴۲۷..... | ۵-۱۲ سنجش عملکرد محصولات ریشه‌ای |
| ۴۳۰..... | ۶-۱۲ سنجش عملکرد سایر محصولات |
| ۴۳۱..... | ۷-۱۲ سنجش کیفیت محصول |
| ۴۳۱..... | ۸-۱۲ پردازش و تهیه نقشه عملکرد |
| ۴۳۷..... | ترکیب، همپوشانی و نواحی مدیریتی |
| ۴۳۷..... | ۱-۱۳ سنجش عوامل مؤثر در رشد |
| ۴۴۰..... | ۲-۱۳ راه‌کارهای ترکیب حسگر |
| ۴۴۵..... | ۳-۱۳ تهیه نقشه عملیات کشاورزی بر اساس سیگنال‌های سنجش |
| ۴۵۲..... | ۴-۱۳ تهیه نقشه عملیات کشاورزی - نواحی مدیریتی |
| ۴۵۷..... | خلاصه و چشم‌اندازها |

فهرست شکل‌ها



- شکل ۱-۲ نمایی از مزارع کشاورزی در شلسویگ-هولشتاین آلمان ۲۴
- شکل ۲-۲ تغییرات همبسته و مستقل از فاصله ۲۶
- شکل ۳-۲ وضوح کم، متوسط و زیاد در متغیرهای مکان، زمان و سیگنال حسگر ۲۶
- شکل ۴-۲ سمی‌واریانس، سمی‌وریوگرام و واریانس قطعه خالص ۲۹
- شکل ۵-۲ سمی‌واریانس از تابع متمم آن و حد بالایی از اندازه سلول ۳۱
- شکل ۶-۲ مبانی کریجینگ بلوکی و کریجینگ نقطه‌ای ۳۶
- شکل ۷-۲ نقشه مکان ویژه عملکرد گندم با کریجینگ نقطه‌ای و بلوکی ۳۷
- شکل ۱-۳ طیف الکترومغناطیسی در مقیاس طول موج ۴۱
- شکل ۲-۳ قانون مربع معکوس: هرچه ناحیه هدف دورتر، تعداد فوتون در واحد سطح کمتر ۴۳
- شکل ۳-۳ پنجره جوی طول موج عبوری از جو ۴۴
- شکل ۴-۳ سنجنده الکترومغناطیسی ماهواره‌ای، هوایی و زمینی ۴۷
- شکل ۵-۳ بازتاب سیگنال‌های رادار از سطح صاف و ناهموار ۵۰
- شکل ۶-۳ پلاریزاسیون امواج رادار در جهت افقی و عمودی ۵۲
- شکل ۷-۳ پخش مکان ویژه کود مبتنی بر نقشه و مبتنی بر حسگر ۵۶
- شکل ۸-۳ شماتیک سیستم‌های ماهواره‌ای ناوبری جهانی ۵۷
- شکل ۹-۳ موقعیت ماشین کشاورزی و ماهواره‌های موقعیت‌یاب مکانی ۶۰
- شکل ۱-۴ خطوط راهنما در غلات ۶۷
- شکل ۲-۴ اصلاح منحنی مسیرهای حرکت (تفاوت انحنای مسیر ۱ و ۴ در سمت راست) ۶۷
- شکل ۳-۴ کشاورزی در امتداد خطوط تراز در مزرعه شیب‌دار ۷۰
- شکل ۴-۴ هدایت و ناوبری به کمک نشانگرهای نوری ۷۰
- شکل ۵-۴ صفحه رابط سیستم ناوبری اتوماتیک ۷۱
- شکل ۶-۴ الگوی حرکت در مزرعه ۷۴
- شکل ۷-۴ صرفه‌جویی کاهش همپوشانی عملیات ناشی از به‌کارگیری ناوبری GPS ۷۶
- شکل ۸-۴ انحراف از نقطه هدف به خاطر شیب جانبی ۷۸
- شکل ۹-۴ موقعیت تراکتور در توپوگرافی خاص و روی سطح شیب‌دار ۷۹
- شکل ۱۰-۴ هدایت فعال و انفعالی ادوات کششی به کمک GPS ۸۲
- شکل ۱۱-۴ هدایت فعال بذرکار در شیب جانبی. آنتن GPS بر روی تراکتور و ادوات نصب شده است ۸۳
- شکل ۱۲-۴ کنترل مکان ویژه عملیات کشت و سم‌پاشی در مزارع نامنظم ذرت ۸۴
- شکل ۱-۵ انحراف معیار خطای داده‌های مدل رقمی ارتفاع ۹۱
- شکل ۲-۵ کاهش خطای روش میانگین وزنی نسبت به میانگین حسابی ۹۳
- شکل ۳-۵ سنجنده تماسی آنالاین و در حال حرکت هدایت الکتریکی خاک ۹۹
- شکل ۴-۵ سنجنش آنالاین و در حال حرکت هدایت الکتریکی به روش القای الکترومغناطیسی ۱۰۰
- شکل ۵-۵ اصول سنجنش ویژگی‌های خاک به روش القای الکترومغناطیسی ۱۰۰
- شکل ۶-۵ خروجی سنجنده‌های رسانایی به‌صورت تابعی از عمق ۱۰۳
- شکل ۷-۵ سنجنش هدایت الکتریکی توسط هزارپای تماسی ۱۰۵
- شکل ۸-۵ تأثیر محتوای رس و سیلت بر هدایت الکتریکی خاک ۱۱۰
- شکل ۹-۵ تأثیر رطوبت بر هدایت الکتریکی در خاک لومی ۱۱۳
- شکل ۱۰-۵ نقشه شوری خاک بر اساس رسانایی الکتریکی در منطقه ریشه ۱۱۵
- شکل ۱۱-۵ رابطه بین عملکرد گندم و هدایت الکتریکی خاک ۱۱۷
- شکل ۱۲-۵ اثر هدایت الکتریکی بر عملکرد گندم پاییزه ۱۱۷

- شکل ۵-۱۳ نقشه هدایت الکتریکی خاک در سه برهه زمانی و میانگین آن‌ها ۱۱۹
- شکل ۵-۱۴ اثر فرکانس و طول موج ماکروویو بر ثابت گذردهی آب 25°C ۱۲۴
- شکل ۵-۱۵ اجزای خاک و مقدار گذردهی نسبی واقعی آن‌ها ۱۲۵
- شکل ۵-۱۶ ثابت دی‌الکتریک پنج نوع خاک در فرکانس‌های مختلف ۱۲۷
- شکل ۵-۱۷ عمق سنجش ماکروویو در فرکانس‌های و رطوبت‌های مختلف ۱۲۸
- شکل ۵-۱۸ میزان امواج بازگشتی به ماهواره‌های ساطع کننده به‌صورت تابعی از رطوبت خاک لخت ۱۳۰
- شکل ۵-۱۹ سنجش بازتاب سطحی از رادار زمینی ۱۳۱
- شکل ۵-۲۰ سنجش محتوای رطوبت خاک توسط ماشین کشاورزی به کمک سیگنال‌های بازتاب راداری و TDR ۱۳۲
- شکل ۵-۲۱ حسگر خازنی (با فرکانس ۱۰۰ GHz) نصب‌شده در نوک تیغه کولتیواتور ۱۳۴
- شکل ۵-۲۲ نرخ توصیه‌شده پاشش علف‌کش قبل از رویش متناسب با مقدار ماده آلی خاک ۱۳۶
- شکل ۵-۲۳ تأثیر آب، کربن و بافت بر بازتاب خاک ۱۴۱
- شکل ۵-۲۴ رابطه یک‌به‌یک بین اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک به روش متداول (آزمایشگاهی) با مقادیر پیش‌بینی‌شده به روش بازتاب طیف‌سنجی کامل نور مرئی و نزدیک فروسرخ در آزمایشگاه ۱۴۴
- شکل ۵-۲۵ اصول سنجش در حال حرکت، ویژگی‌های خاک توسط بازتاب نزدیک فروسرخ ۱۴۷
- شکل ۵-۲۶ نقشه‌برداری هم‌زمان بازتاب نزدیک فروسرخ در زیر تیغه کولتیواتور و رسانایی الکتریکی در حالت تماسی ۱۴۷
- شکل ۵-۲۷ نقشه کربن منتج از سنجنده بازتابی سوار بر ماشین کشاورزی و سنجنده ماهواره‌ای ۱۴۹
- شکل ۶-۱ بازتاب و انتقال طیفی برگ گندم در محدوده نور مرئی و فروسرخ ۱۶۰
- شکل ۶-۲ طیف بازتاب پوشش گیاهی و خاک در محدوده نور مرئی، نزدیک فروسرخ، فروسرخ کوتاه ۱۶۰
- شکل ۶-۳ بازتاب نور گیاهان برحسب شاخص سطح برگ و غلظت کلروفیل در برگ ۱۶۲
- شکل ۶-۴ تمایز مکان‌ویژه بازتاب قرمز و فروسرخ در یک مزرعه ناهمگن ۱۶۴
- شکل ۶-۵ سم‌پاشی نقطه‌ای مجهز به حسگرهای نوری برای مبارزه با علف‌های هرز در مزرعه آیش ۱۶۶
- شکل ۶-۶ نقاط عطف لبه قرمز ۱۶۷
- شکل ۶-۷ سنجش شاخص سطح برگ با استفاده از NDVI یا نقطه عطف لبه قرمز ۱۶۹
- شکل ۶-۸ ضریب تبیین (R^2) سه شاخص بازتاب محتوای کلروفیل برگ ۱۷۰
- شکل ۶-۹ برآورد کلروفیل بر اساس شاخص لبه قرمز کانوبی ذرت و سویا ۱۷۳
- شکل ۶-۱۰ مقایسه بهره‌وری ناخالص اولیه روزانه ذرت با استفاده از شاخص کلروفیل و تثبیت جریان CO_2 ۱۷۵
- شکل ۶-۱۱ پایش سینوپتیکی عملکرد ناخالص ذرت با استفاده از شاخص کلروفیل سبز داده‌های ماهواره لندست ۱۷۵
- شکل ۶-۱۲ تأثیر محتوای کلروفیل برگ‌ها بر فعالیت فتوسنتزی، جذب و بازتاب اشعه فعال فتوشیمیایی، فلورسانس و اتلاف گرمایی ۱۷۹
- شکل ۶-۱۳ طیف فلورسانس برگ ذرت در دو سطح محتوای کلروفیل که با نور فرابنفش برانگیخته‌شده است ۱۸۱
- شکل ۶-۱۴ سنجش انفعالی فلورسانس کلروفیل پوشش گیاهی با استفاده از خطوط فرانوفر ۱۸۳
- شکل ۶-۱۵ طیف فلورسانس کلروفیل برگ ذرت ۱۸۴
- شکل ۶-۱۶ تأثیر محتوای آب کانوبی و بخارآب جو بر طول موج پرتو بازتابی ۱۹۱
- شکل ۶-۱۷ محدوده توصیه شده برای سنجش آب کانوبی و محدوده نویری ناشی از بخارآب جو ۱۹۲
- شکل ۶-۱۸ تفسیر گرافیکی شاخص تنش آبی گیاه ۱۹۵
- شکل ۶-۱۹ ضریب انتقال امواج رادار در کانوبی گیاه علفی ۱۹۸
- شکل ۶-۲۰ برآورد زیست‌توده جو پاییزه از طریق خارج‌قسمت امواج رادار شبه قطبی شده و سنجش‌ازدور ماهواره‌ای ۲۰۱
- شکل ۶-۲۱ نقشه‌برداری (ژئورفرنس) و تعیین نوع پوشش گیاهی ماهواره‌ای با استفاده از امواج راداری قطبی شده ۲۰۲
- شکل ۷-۱ رابطه بین دانسیته ظاهری و عملکرد ۲۱۲
- شکل ۷-۲ شکل‌گیری تدریجی شکاف‌ها در حین خشک شدن خاک رسی ۲۱۴
- شکل ۷-۳ اثر دانسیته ظاهری و محتوای رطوبت بر شاخص مخروطی ۲۱۶
- شکل ۷-۴ الگوریتم تصمیم‌یار کنترل عمق خاک‌ورزی اولیه ۲۱۹
- شکل ۷-۵ همپوشانی لایه‌های مختلف تصمیم‌یار جهت کنترل عمق مکان‌ویژه خاک‌ورزی اولیه ۲۱۹
- شکل ۷-۶ رابطه اندازه کلوخ‌ها و نرخ سبز شدن بذر در مزرعه ۲۲۳

- شکل ۷-۷ محل نصب کرنش‌سنج برای تعیین میزان خردشدگی خاک ۲۲۴
- شکل ۸-۷ نیروهای وارد بر ساقه حسگر در سه وضعیت شخم در خاک رسی ۲۲۶
- شکل ۹-۷ ساختار فیزیکی خاک و انحراف معیار نیروهای وارد بر ساقه ۲۲۷
- شکل ۱۰-۷ همبستگی بین ساختار فیزیکی خاک به روش الک استاندارد و حسگر روی ساقه ۲۲۸
- شکل ۱۱-۷ تفکیک عمقی لایه‌های بستر بذر (مقطع عمودی) ۲۳۱
- شکل ۱۲-۷ علف‌هرزکن میله‌ای ۲۳۵
- شکل ۱۳-۷ تنظیم خط رطوبت در مزرعه آیش توسط برش دهنده زیرین ۲۳۶
- شکل ۱۴-۷ تنظیم مسیر عملیات مختلف کشاورزی برای پروژه تردد کنترل شده ۲۳۹
- شکل ۱۵-۷ نمونه تراکتور (اندازه متوسط) بدون سرنشین ۲۴۰
- شکل ۱-۸ شرایط حاکم بر روش کشت برخی محصولات ۲۴۷
- شکل ۲-۸ کنترل حلقه بسته نرخ بذر، مبتنی بر شمارنده بذر کوچک ۲۴۹
- شکل ۳-۸ تراکم بذر گندم پاییزه مبتنی بر بافت خاک و بارش در متوسط دمای سالانه 8°C ۲۴۹
- شکل ۴-۸ تأثیر تراکم بوته بر عملکرد با در نظر گرفتن انعطاف‌پذیری محصول ۲۵۱
- شکل ۵-۸ اثر توزیع بذر بر عملکرد ۲۵۴
- شکل ۶-۸ کنترل فشار یک واحد کارنده ۲۵۵
- شکل ۷-۸ استفاده از حسگر التراسونیک برای کنترل فاصله عمق کاشت ۲۵۷
- شکل ۸-۸ سنجش رطوبت در عمق‌های مختلف زیر سطح خاک به کمک بازتاب فروسرخ ۲۶۰
- شکل ۹-۸ شمای دقیق کار مجهز به کنترل عمق مبتنی بر سنجنده جبهه خاک خشک و خراش دهنده سطحی خاک ۲۶۱
- شکل ۱۰-۸ میانگین ولتاژ بین دو الکتروود بدون عایق که به‌صورت افقی در خاک لوم شنی حرکت می‌کند ۲۶۲
- شکل ۱۱-۸ کشت بی‌خاک‌ورزی ذرت در بقایای کشت قبلی ذرت، با استفاده از تمیزکننده ردیف در مقابل واحد کاشت بذر ۲۶۵
- شکل ۱۲-۸ کاشت گندم در بین ردیف‌های کشت قبلی گندم روش مناسب ضد فرسایش خاک ۲۶۵
- شکل ۱۳-۸ غلتک چین‌دار جلو سوار کشت بی‌خاک‌ورزی داخل گیاه پوششی ۲۶۷
- شکل ۱۴-۸ میزان جوانه‌زنی آزمایشگاهی کلزا در مقایسه با اندازه و موقعیت کاه جو (کشت قبلی) ۲۶۸
- شکل ۱۵-۸ توزیع بذر در زیر شیاربازکن باله‌ای ۲۷۰
- شکل ۱-۹ کود دهی مکان‌ویژه مبتنی بر مواد مغذی مصرف‌شده در کشت قبلی ۲۷۵
- شکل ۲-۹ شماتیک سنجنده الکتروشیمیایی (الکترودهای یون انتخابی) ۲۷۸
- شکل ۳-۹ تأثیر رطوبت بر رفتار نسبی یون‌ها در خاک ۲۸۰
- شکل ۴-۹ سنجنده هم‌زمان pH و هدایت الکتریکی خاک ۲۸۱
- شکل ۵-۹ مقایسه تفاوت pH اندازه‌گیری شده به روش مرسوم و آزمایشگاهی با روش الکترودهای یون انتخابی ۲۸۳
- شکل ۶-۹ سنجش در حال حرکت نیترات خاک (به‌صورت دوغاب) توسط الکترودهای یون انتخابی ۲۸۵
- شکل ۷-۹ همبستگی روش‌های سنجش نیترات خاک ۲۸۶
- شکل ۸-۹ خطوط کانتور نیترات در یک مزرعه در زمان برداشت گندم ۲۸۷
- شکل ۹-۹ سنجش هم‌زمان یون نیترات، فسفات و پتاسیم (در دسترس گیاه) توسط الکترودهای یون انتخابی ۲۹۰
- شکل ۱۰-۹ سیگنال طیف ثبت‌شده خاک و سیگنال پردازش‌شده (حذف نویز) به روش موجک ۲۹۴
- شکل ۱۱-۹ مقایسه دوبه‌دو سنجش آهک به روش بازتاب طیفی و روش استاندارد آزمایشگاهی ۲۹۶
- شکل ۱۲-۹ بازتاب طیفی سه سطح فسفر در دسترس گیاه در نمونه‌های خاک ۲۹۸
- شکل ۱۳-۹ شماتیک سنجنده نوری مکان‌ویژه در حال حرکت فسفر و به همراه کود دهی دقیق ۲۹۹
- شکل ۱۴-۹ نقشه مکان‌ویژه فسفر در دسترس گیاه در خاک لومی سیلتی ۳۰۰
- شکل ۱۵-۹ مقایسه دوبه‌دو سنجش نیترات نمونه‌های خاک به روش بازتاب ۳۰۳
- شکل ۱۶-۹ سیستم‌های پخش مکان‌ویژه نیتروژن (مبتنی بر حسگر) ۳۰۵
- شکل ۱۷-۹ اثر کود دهی نیتروژن بر شاخص سطح برگ (LAI) گندم پاییزه ۳۰۷
- شکل ۱۸-۹ اثر نیتروژن بر شاخص سطح برگ و میزان کلروفیل در دانه کلزا ۳۰۷
- شکل ۱۹-۹ بازتاب چاودار پاییزه در دومین کود دهی به مقدار نیتروژنی که ۷ هفته قبل کود دهی شده است. منحنیها در نور طبیعی و در راستای دید عمودی سنجنده شده‌اند ۳۰۸

- شکل ۹-۲۰ ضریب تبیین شاخص‌های استاندارد جذب نیتروژن غلات ۳۱۱
- شکل ۹-۲۱ هندسه تابش خورشیدی ۳۱۳
- شکل ۹-۲۲ شماتیک دید مورب کانوبی گیاه توسط دو حسگر جانبی که بالای سقف تراکتور نصب شده‌اند ۳۱۶
- شکل ۹-۲۳ اثر زاویه آزیموت خورشیدی روی نسبت بازتاب نزدیک فروسرخ به قرمز در نور طبیعی ۳۱۷
- شکل ۹-۲۴ کنترل کودپاش نیتروژن مبتنی بر سنجنده بازتاب نور مصنوعی عمودی از کانوبی ۳۱۹
- شکل ۹-۲۵ کنترل کودپاش نیتروژن مبتنی بر سنجنده بازتاب نور مصنوعی مورب از روی سقف ۳۱۹
- شکل ۹-۲۷ ماتریس ضرایب تبیین نسبت بازتاب ساده گندم در مراحل رشد ۳۲۱
- شکل ۹-۲۸ مقایسه اندازه‌گیری نیتروژن برحسب نسبت لبه قرمز به روش آزمایشگاهی گندم پاییزه ۳۲۵
- شکل ۹-۲۹ اثر کانوبی گیاه و خاک بر شاخص‌های طیفی ۳۲۵
- شکل ۹-۳۰ سنجش محتوای نیتروژن و کلروفیل بر اساس فلورسانس ۳۲۸
- شکل ۹-۳۱ سنجش هم‌زمان نسبت فلورسانس (F680 / F735) و برآورد تراکم بوته در واحد سطح ۳۲۹
- شکل ۹-۳۲ بازتاب نوری حجمی و سطحی در مزرعه ۳۳۰
- شکل ۹-۳۳ سنجش مقاومت خمشی کانوبی غلات توسط پاندول نصب‌شده در جلوی تراکتور ۳۳۱
- شکل ۹-۳۴ افسست بین سیگنال دریافتی و پخش کود ۳۳۷
- شکل ۹-۳۵ خطای تأخیر موقعیت به ازای سرعت پیشروی تراکتور در سه پخش‌کننده کود ۳۳۷
- شکل ۹-۳۶ اندازه‌گیری میزان پرتو عبوری از جوان‌ترین برگ گندم به‌منظور کالیبراسیون دقیق کودپاش مکان‌ویژه نیتروژن ۳۳۹
- شکل ۹-۳۷ الگوریتم‌های کنترلی تیمار مکان‌ویژه نیتروژن بر اساس سنجش بازتاب و نقاط اکسترمم ۳۴۰
- شکل ۹-۳۸ شاخص کفایی (Si) یا شاخص استعمال ازت مبتنی بر رشد گیاه ۳۴۴
- شکل ۹-۳۹ بازتاب طیفی رفتار گیاه لفل در مقابل چهار تیمار نیتروژن و رطوبت در دسترس ۳۴۵
- شکل ۹-۴۰ مقایسه عملکرد گندم پاییزه بر اساس سیستم سنجش بازتابی کیل و تیمار یکنواخت نیتروژن ۳۴۹
- شکل ۹-۴۱ هزینه - فایده تکنیک‌های کنترل مکان‌ویژه کود نیتروژن در گندم پاییزه ۳۵۲
- شکل ۱۰-۱ توزیع گونه‌های مختلف علف‌هرز در مزرعه جو بهاره و تهیه نقشه سم‌پاش بومدار ۳۶۵
- شکل ۱۰-۲ منحنی انعکاس خاک و گونه‌های مختلف گیاهی در گستره طول موج ۷۵۰-۶۸۰ نانومتر ۳۶۶
- شکل ۱۰-۳ مقایسه نقشه توزیع علف‌هرز گندم بر اساس شمارش بصری و اندازه‌گیری دو طیفی ۳۶۹
- شکل ۱۰-۴ تصاویر طیف‌سنج ویدئویی بازتاب سنگ، علف‌هرز و کاه در طیف ۹۲۵-۳۳۸ نانومتر با پس‌زمینه خاک ۳۶۹
- شکل ۱۰-۵ سیستم دوربین دو طیفی تهیه عکس در باندهای مختلف ۳۷۱
- شکل ۱۰-۶ تصویر افتراقی محاسبه شده از تفاوت طیف فروسرخ و قرمز پس از حذف خاک، سنگ و مالچ ۳۷۱
- شکل ۱۰-۷ همپوشانی برگ‌ها به رنگ خاکستری، اسکلت‌بندی و میدل فاصله ۳۷۲
- شکل ۱۰-۸ کلاستر بندی با استفاده از رنگ و شماره و کدهای EPPO ۳۷۲
- شکل ۱۰-۹ کلاستر بندی دوبعدی ویژگی‌های گیاه (میانگین و اندازه گیاه) و تابع تفکیک ۳۷۵
- شکل ۱۰-۱۰ گسترش گل بنفشه در مزرعه ذرت، چغندر قند، گندم و جو پاییزه ۳۷۷
- شکل ۱۰-۱۱ تراکم علف‌هرز و تولید بذر علف‌هرز بیتیراخ و بلک‌گراس در گیاهان زراعی مختلف ۳۷۹
- شکل ۱۰-۱۲ رابطه زیست‌توده علف‌هرز و بذر تولیدی علف شیرینیر و بلک‌گراس ۳۷۹
- شکل ۱۰-۱۳ شماتیک سم‌پاشی مکان‌ویژه چندمنظوره ۳۸۳
- شکل ۱۰-۱۴ نمایی از سیستم هیدرولیک سم‌پاش پاشش مستقیم ۳۸۴
- شکل ۱۱-۱ کنترل سم‌پاش به کمک سنجنده التراسونیک زیست‌توده ۳۹۴
- شکل ۱۱-۲ سنجش فراصوتی زیست‌توده گندم پاییزه در مراحل مختلف رشد ۳۹۵
- شکل ۱۱-۳ طیف بازتاب برگ چغندر قند آلوده به قارچ‌های مختلف ۳۹۷
- شکل ۱۱-۴ دیاگرام فلورسانس گیاه (کلروفیل و فنول) ۴۰۰
- شکل ۱۱-۵ شماتیک فلورسانس متغیر برگ سالم و برگ آسیب‌دیده ۴۰۲
- شکل ۱۱-۶ ربات آزمایشگاهی در حال عملیات در مزرعه ذرت ۴۰۸
- شکل ۱۱-۷ مقایسه تأثیر نیتروژن و سفیدک قارچ بر روی نسبت فلورسانس آبی به سبز ۴۱۰
- شکل ۱۱-۱۲ اجزای سیستم ثبت عملکرد مکان‌ویژه کمابین غلات ۴۱۷
- شکل ۱۲-۲ روش‌های مختلف اندازه‌گیری دانه و جریان دانه در کمابین ۴۱۹

- شکل ۱۲-۳ اندازه‌گیری دبی جرمی دروگر علوفه با تکنولوژی تقاله توزین ۴۲۵
- شکل ۱۲-۴ سیستم اندازه‌گیری جریان مواد چاپر علوفه ۴۲۷
- شکل ۱۲-۵ سیستم اندازه‌گیری جریان مواد در کمباین سیب‌زمینی و چغندر قند ۴۲۸
- شکل ۱۳-۱ تبادل اطلاعات و چرخه داده در کشاورزی دقیق ۴۳۹
- شکل ۱۳-۲ نقشه هدایت الکتریکی، رطوبت حجمی و مقاومت نفوذ خاک و عملکرد گندم دیم ۴۴۵
- شکل ۱۳-۳ همپوشانی نقشه مکان‌ویژه احتمال شستشوی علف‌کش ایزوپروترون ۴۴۹
- شکل ۱۳-۴ نقشه عملکرد گندم پاییزه در خاک رسی Nottinghamshire ۴۵۲
- شکل ۱۳-۵ نقشه رسانایی الکتریکی، ناهموازی، عملکرد محصول و نواحی مدیریتی ۴۵۵

فهرست جداول



| | | |
|-----------|--|-----|
| جدول ۱-۳ | جذب، بازتاب و انتقال پرتوهای خورشیدی توسط ابرها | ۴۶ |
| جدول ۲-۳ | کاربردهای متداول سنجش ویژگی‌های خاک و گیاه توسط پرتو | ۵۴ |
| جدول ۳-۳ | دسترسی به سیگنال‌های ژئورفرنس و حداکثر کردن زمان در دسترس بودن گیرنده با تعدد ماهواره (زاویه نقاب ۵ درجه) در مدار | ۶۰ |
| جدول ۴-۳ | انواع خطا و هزینه‌های کاهش آن در سیستم‌های موقعیت‌یاب جهانی | ۶۱ |
| جدول ۱-۵ | سنجش خواص حجمی خاک بر اساس جریان الکتریکی یا تابش | ۹۶ |
| جدول ۲-۵ | تأثیر اجزای خاک بر هدایت الکتریکی | ۱۰۷ |
| جدول ۳-۵ | همبستگی بین ویژگی‌های خاک و هدایت الکتریکی | ۱۱۱ |
| جدول ۴-۵ | نتایج آزمایشگاهی همبستگی بین ویژگی‌های خاک و دامنه بازتاب | ۱۴۲ |
| جدول ۵-۵ | تحلیل آماری دقت سنجش کربن به کمک سنجنده بازتابی در گستره طیفی کامل و در حال حرکت، برآورد نقطه‌ای متغیرهای در نظر گرفته‌شده در مدل رگرسیون گام‌به‌گام | ۱۴۹ |
| جدول ۱-۶ | نرخ استفاده از تشعشعات جذب‌شده | ۱۷۹ |
| جدول ۲-۶ | طیف‌سنجی (اسپکتروسکوپی) مقدار آب کانوپی گیاه | ۱۸۹ |
| جدول ۳-۶ | فرکانس و طول‌موج باندهای رادار در محدوده ۰/۴-۱۵ گیگاهرتز | ۱۹۷ |
| جدول ۱-۷ | سنجش ساختار فیزیکی خاک | ۲۲۳ |
| جدول ۱-۹ | مصرف فسفات و پتاس (برحسب تن ماده خشک محصول برداشت‌شده) | ۲۷۶ |
| جدول ۲-۹ | همبستگی بازتاب نور و ویژگی‌های خاک در آزمایش طیف‌سنجی | ۲۹۳ |
| جدول ۳-۹ | روابط شاخص بازتاب طیفی استاندارد با محتوای نیتروژن | ۳۱۱ |
| جدول ۴-۹ | ارزیابی اثر عوامل اخلاک‌گر به‌صورت ضرایب و میانگین هندسی | ۳۱۵ |
| جدول ۵-۹ | شاخص متداول و شاخص جدید سنجش نیتروژن | ۳۲۳ |
| جدول ۶-۹ | ناهمگنی غلات در سه منطقه از آلمان | ۳۳۴ |
| جدول ۷-۹ | اصلاح نرخ نیتروژن به‌صورت تابعی از مقدار رطوبت | ۳۴۶ |
| جدول ۸-۹ | بازدهی استعمال نیتروژن معدنی (kg دانه به ازای kg کود نیتروژن) | ۳۵۰ |
| جدول ۱-۱۰ | طبقه‌بندی گونه‌های گیاهی مزرعه ذرت با استفاده از پردازش تصویر | ۳۷۴ |
| جدول ۲-۱۰ | طبقه‌بندی گونه‌های گیاهی مزرعه گندم پاییزه با استفاده از پردازش تصویر | ۳۷۴ |
| جدول ۳-۱۰ | مقایسه عملکرد مناطق سم‌پاشی نشده در دو سیستم سم‌پاشی بومدار (patch) و سم‌پاش متداول علف‌کش (پاشش یکسان) در کل مزرعه | ۳۸۵ |
| جدول ۱-۱۱ | فلورسانس‌های گیاهی و کاربرد آن | ۴۰۶ |
| جدول ۱-۱۲ | خطاهای متداول حسگر عملکرد کمباین در آزمایش‌های مزرعه‌ای | ۴۲۲ |
| جدول ۲-۱۲ | خطای سیستم‌های سنجش عملکرد کمباین (مزرعه گندم پاییزه در سال ۲۰۰۱-۲۰۰۰) | ۴۲۳ |
| جدول ۳-۱۲ | خطای سنجش عملکرد کمباین در شیب | ۴۲۳ |
| جدول ۴-۱۲ | دقت سیستم اندازه‌گیری عملکرد در کمباین محصولات ریشه‌ای | ۴۲۹ |
| جدول ۵-۱۲ | ارزیابی سیستم‌های سنجش عملکرد کمباین نیشکر | ۴۳۱ |
| جدول ۱-۱۳ | اهداف قابل حصول ترکیب حسگرها در کشاورزی مکان‌ویژه | ۴۴۲ |

مقدمه

Hermann J. Heege

کشاورزی پایدار و اقتصادی به شرطی امکان پذیر است که با شرایط طبیعی و اقتصادی همخوانی کامل داشته باشد. شرایط طبیعی و اقتصادی به عنوان مثال تابش خورشید، ذخایر آب شیرین، ویژگی های خاک و تقاضای بازار همیشه یکسو و یکنواخت نیستند. کشاورزان در طول قرن های گذشته شیوه های کشت و زرع را با این تغییرات و شرایط محیطی تطبیق داده اند.

کیفیت خاک زراعی یا شیب در یک منطقه کوچک یا حتا در داخل یک مزرعه نیز گاهی متغیر است. تقریباً در همه مزارع، ویژگی های خاک، شیب، ذخیره رطوبت و در نتیجه رشد و میزان عملکرد گیاه پارامتر متغیری است؛ تا زمانی که عملیات کشاورزی به صورت دستی یا با استفاده از ابزارهای کوچک انجام می شود، کشاورزان قادر به کنترل و درک این تفاوت ها هستند.

امروزه، نحوه کشت و زرع در بسیاری از نقاط جهان تغییر کرده است، به ویژه در مناطقی با مزارعی بسیار بزرگ تر از مزارع گذشته که عملیات زراعی با ادواتی با عرض کار تا ۴۰ متر انجام می شود. در این شرایط، کشاورز ارتباط مستمر و مستقیم با گیاه و خاک را از دست داده و قادر به کسب اطلاعات زمانی و مکانی از وضعیت گیاه و خاک نیست. تنظیمات ماشین های کشاورزی و عملیات زراعی در سطح مزرعه به صورت یکنواخت و بدون توجه به تغییرات مکانی در ویژگی های خاک و گیاه انجام می شود.

چنین شیوه کشت و زرع را نمی توان کشاورزی پایدار نامید، چون که در اغلب نقاط مزرعه ویژگی های خاک و گیاه یکنواخت و یکسان نیستند. تنظیم مداوم و دقیق عملیات زراعی بر

اساس تغییرپذیری شرایط خاک و گیاه به صورت مکان‌ویژه^۱ در مزارع می‌تواند نیازهای زیست‌محیطی را به بهترین نحو ممکن برطرف کرده و عملکرد بالایی محصول را تضمین کند. لذا، اجرای کشاورزی دقیق به صورت مکان‌ویژه امری منطقی و ضروری است.

اجرای کشاورزی دقیق نیازمند ابزاری برای رسیدن به اهداف موردنظر است. هنگام اجرای عملیات زراعی با ماشین‌های عریض و با سرعت پیشروی بالا، امکان مشاهده بصری اپراتور و تنظیم دستی ماشین مطابق با تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک و گیاه وجود ندارد. با پایش و سنجش خواص مکان‌ویژه خاک و گیاه در مزارع و پردازش سیگنال‌های به‌دست‌آمده از حسگرها، امکان غلبه بر چالش تطبیق تنظیمات ماشین با تغییرات مکان‌ویژه فراهم خواهد شد. در صورتی که نتایج پردازش سیگنال‌های به‌دست‌آمده از حسگرها با عملگرهای^۲ نصب‌شده بر روی ماشین ترکیب شوند، امکان تصحیح اتوماتیک و در حین حرکت^۳ تنظیمات ماشین به صورت مکان‌ویژه فراهم خواهد شد. نتایج سنجش و پردازش ویژگی‌های خاک و گیاه در مزرعه را می‌توان به صورت مکان‌ویژه در نقشه‌های دیجیتالی ژئورفرنس (زمین‌مرجع) و ذخیره کرد. چنانچه سنجش ویژگی‌های مزرعه قبل از عملیات زراعی انجام شود، استفاده از چنین نقشه‌هایی لازم و ضروری خواهد بود.

مشکل اصلی در اجرای کشاورزی دقیق انتخاب اصول سنجش متغیرها و روش‌های مناسب برای پردازش سیگنال‌های به‌دست‌آمده است. طیف گسترده‌ای از مفاهیم و روش‌های بهبود دقت عملیات کشاورزی از جمله خاک‌ورزی، کاشت، کود دهی، حفاظت از گیاه، آبیاری و برداشت توسعه داده شده‌اند. نتایج این پژوهش‌های فشرده و علمی در نشریات و کنفرانس‌های متعددی منتشر شده است. علیرغم مقالات متعدد و تخصصی که در این زمینه و به صورت تخصصی و جزئی‌نگرانه چاپ شده است، این کتاب تلاش می‌کند تا چشم‌اندازی کلی و جامع از کشاورزی دقیق و مکان‌ویژه را برای علاقه‌مندان ارائه دهد.

¹ Site-specific

² Actuators

³ On-the-go

نگرش عمومی نسبت به تکنیک‌های کشاورزی مدرن بسیار متفاوت و گاهی متناقض است. بخشی از افکار عمومی نسبت به تکنیک‌های کشاورزی مدرن نگرش مثبتی دارند و بخش قابل توجهی از مردم، نگاه مثبتی به کشاورزی مدرن و تکنولوژیک ندارند و آن را به خاطر مصرف کودهای شیمیایی، علف‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها (که برای عملکرد بالا در مزرعه مورد نیاز هستند) و مضرات زیست‌محیطی و اجتماعی، سرزنش می‌کنند.

خوشبختانه، کشاورزی مکان‌ویژه، کاهش مصرف مواد شیمیایی در مزرعه را امکان‌پذیر نموده است، این کاهش مصرف نهاده‌ها نه تنها به کاهش عملکرد منجر نشده است، بلکه در مواردی افزایش عملکرد محصول را نیز به دنبال داشته است. تیمار مکان‌ویژه نهاده‌ها علاوه بر افزایش بهره‌وری مواد شیمیایی، بهره‌وری نهاده‌های دیگر از جمله انرژی، بذر و آب را نیز بهبود می‌بخشید.

به‌طور خلاصه، این کتاب قصد دارد تا موفقیت‌های کشاورزی دقیق در افزایش عملکرد محصول در واحد سطح مزرعه و همچنین حفظ محیط‌زیست را تبیین کند. با توجه به تعدد روش‌ها و دستاوردهای موجود، پرداختن به تمامی مسائل و جزئیات فنی کشاورزی دقیق در یک کتاب، غیرممکن است. مبانی و اصول اندازه‌گیری متغیرها، علل فیزیکی، شیمیایی و زیستی تغییرات و نیز امکانات بالقوه مهندسی و مدیریت کشاورزی تشریح شده است؛ بنابراین این کتاب بر اساس یک رویکرد بین‌رشته‌ای در زمینه‌های مختلف علوم مهندسی، کشاورزی و رشته‌های مرتبط پایه‌ریزی شده است.

ناهمگنی در مزارع: مفاهیم پایه

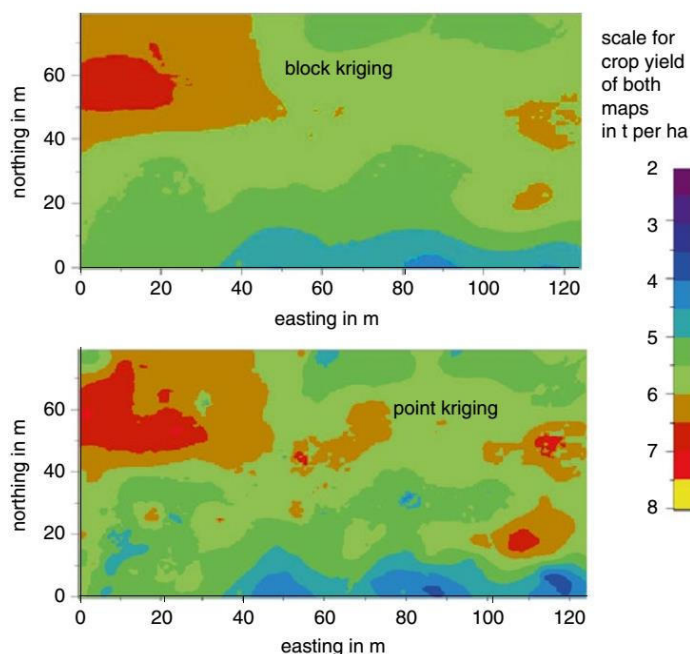
Hermann J. Heege

چکیده: کشاورزی پایدار و اقتصادی، نیاز به سازگاری دقیق عملیات کشاورزی با تغییر ویژگی‌های خاک و نیاز گیاه در مزرعه دارد؛ بنابراین، عملیات کشاورزی باید به صورت مکان‌ویژه انجام گیرد. میزان تفکیک مکانی یا اندازه سلول اعمال تغییرات مکانی درون یک مزرعه چه مقدار باید باشد؟ اندازه سلول تابعی از نوع و توزیع تغییرات ویژگی خاک و محصول است. در نتیجه، اندازه سلول برحسب سمی‌واریانس^۱، توابع متمم و کوواریانس تعیین خواهد شد. پس از محاسبه اندازه سلول، هیچ سلولی نباید با سلول دیگر چه در حین نمونه‌برداری، نقشه‌برداری و یا عملیات ماشینی همپوشانی داشته باشد.

۱-۲ قدرت تفکیک تغییرات

با نگاه دقیق به مزرعه کشاورزی متوجه خواهید شد که یکنواختی در هیچ مزرعه‌ای حاکم نیست (شکل ۱-۲). این امر برای کارشناسان کشاورزی که از نزدیک خاک و محصولات کشاورزی را بررسی می‌کنند، بسیار مشهود است. بسیاری از ویژگی‌های خاک و محصول درون مزرعه خاصیتی متغیر دارد که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

^۱ Semivariance



شکل ۲-۷ نقشه مکان‌ویژه عملکرد گندم با کریجینگ نقطه‌ای و بلوکی (Whelan et al. 2002)

منابع

- Cemek B, Güler M, Kilic K, Demir Y, Arslan H (2007) Assessment of spatial variability in some soil properties as related to soil salinity and alkalinity in Bafra plain in Northern Turkey. *Environ Monit Assess* 124:223–234.
- Davis JC (1973) *Statistics and data analysis in geology*. Wiley, New York.
- Gringarten E, Deutsch CV (2001) Teacher's aide. Variogram interpretation and modelling. *Math Geol* 33(4):507–534.
- Han S, Hummel JW, Goering CE, Cahn MD (1994) Cell size selection for site-specific crop management. *Trans Am Soc Agric Eng* 37(1):19–26.
- Hengl T (2007) *A practical guide to geostatistical mapping of environmental variables*. JRC scientific and technical reports. European Commission. JRC Ispra, Ispra. <http://ies.jrc.ec.europa.eu>
- Kerry R, Oliver MA (2004) Average variograms to guide soil sampling. *Int J Appl Earth Obs Geoinform* 5:307–325.
- Kerry R, Oliver MA (2008) Determining nugget: sill ratios of standardized variograms from aerial photographs to krige sparse soil data. *Precis Agric* 9:33–56.
- Matheron G (1963) Principles of geostatistics. *Econ Geol* 58:1246–1266.
- McBratney AB, Pringle MJ (1999) Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. *Precis Agric* 1:125–152.
- McBratney AB, Whelan BM (1999) The “null hypothesis” of precision agriculture. In: Stafford JV (ed) *Precision agriculture '99*. Part 2. Sheffield Academic Press, Sheffield, pp 947–957.
- Oliver MA (1999) Exploring soil spatial variation geostatistically. In: Stafford JV (ed) *Precision agriculture '99*. Part 1. Sheffield Academic Press, Sheffield, pp 3–17.

- Russo D, Bresler E (1981) Soil hydraulic properties as stochastic processes: I. An analysis of field spatial variability. *Soil Sci Soc Am J* 45:682–687.
- Solie JB, Raun WR, Whitney RW, Stone ML, Ringer JD (1992) Optical sensor based field element size and sensing strategy for nitrogen application. *Trans Am Soc Agric Eng* 39(6):1983–1992.
- Tollner EW, Schafer RL, Hamrita TK (2002) Sensors and controllers for primary drivers and soil engaging implements. In: Upadhyaya SK et al (eds) *Advances in soil dynamics*, vol 2. ASAE, St. Joseph, p 182.
- Webster R, Oliver MA (2007) *Geostatistics for environmental scientists*, 2nd edn. Wiley, Chichester.
- Whelan BM, McBratney AB, Minasny B (2002) VESPER 1.5 – Spatial prediction software for precision agriculture. In: Robert PC, Rust RH, Larson WE (eds) *Proceedings of the 6th international conference on precision agriculture*, Madison.

سنجنده‌های الکترومغناطیسی

Hermann J. Heege

چکیده: پرتو الکترومغناطیسی برای سنجنش غیرتماسی بسیاری از ویژگی‌های خاک و گیاه استفاده می‌شود. مبنای شناسایی مواد بر اساس این روش بر این تئوری استوار است که تشعشعات هر ماده (از جمله ترکیبات خاک و گیاه) حاوی یک سری شاخص‌های الکترومغناطیسی آن ماده است. این شاخص الکترومغناطیسی که دربرگیرنده ویژگی منحصر به فردی از ماده است را می‌توان به‌عنوان اثرانگشت نوری آن ماده یا اجزای آن تعریف کرد.

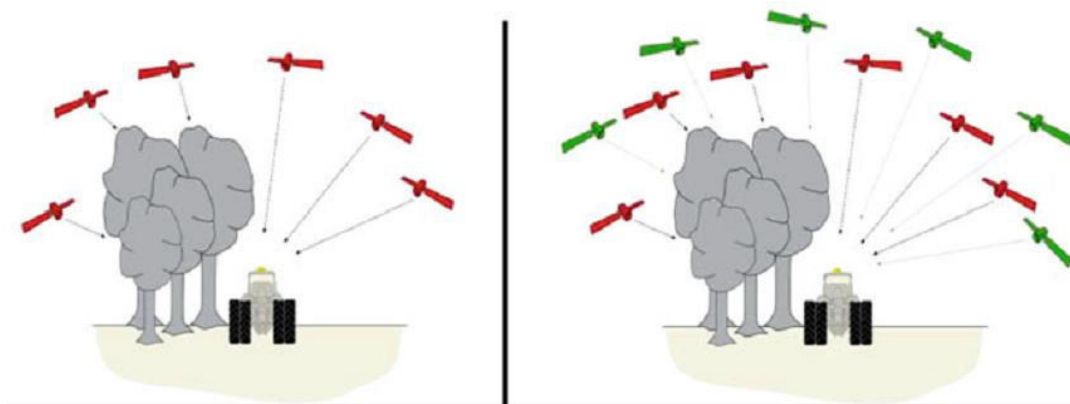
ماهواره‌های سنجنش از دور و سنجنده‌های هوایی تهیه نقشه‌های بازرسی تاکتیکی، نمای کلی ویژگی‌های خاک یا گیاه یک مزرعه یا منطقه‌ای وسیع را امکان‌پذیر نموده‌اند. پایش یک منطقه توسط حسگرهایی که روی ماشین‌های کشاورزی نصب شده است، به علت وسعت بالای مناطق و زمان‌بری امکان‌پذیر نیست. با این وجود، حسگرهای نصب شده روی ماشین‌های کشاورزی، دقت زمانی و مکانی بسیار مناسبی را برای کنترل عملیات کشاورزی مکان‌ویژه فراهم می‌کنند. دقت مکانی مناسب به علت فاصله کم حسگر از خاک و یا گیاه و دقت زمانی مناسب به علت ثبت آنی و لحظه‌ای سیگنال‌های الکتریکی حاصل می‌شود. سرعت عمل سنجنش برای خواص زودیافت خاک و گیاه که تغییرات زمانی کوتاهی دارند، بسیار حیاتی است.

سیستم موقعیت‌یاب امکان ذخیره‌سازی سیگنال‌ها بر اساس موقعیت مکانی (مکان‌ویژه) آن را فراهم می‌کند.

خواهد شد. محدوده خطای اندازه‌گیری و هزینه‌های برخی سیستم‌های ناوبری در جدول ۳-۴ نشان داده شده است. به علت پیشتازی GPS در سیستم موقعیت‌یابی و ناوبری ایالات متحده، همه گیرنده‌ها عبارت GPS را در نماد خود دارند. البته این بدین معنا نیست که گیرنده‌ها نمی‌توانند از سیگنال دیگر سیستم‌های ماهواره‌ای ناوبری جهانی استفاده کنند (شکل ۳-۸).

جدول ۳-۳ دسترسی به سیگنال‌های ژئورفرنس و حداکثر کردن زمان در دسترس بودن گیرنده با تعدد ماهواره (زاویه نقاب ۵ درجه) در مدار (Mansfeld 2010)

| تعداد ماهواره در مدار | دسترسی (درصد) | حداکثر زمان تجمعی خرابی (دقیقه در ۳۰ روز) |
|-----------------------|---------------|---|
| ۲۴ | ۹۹/۹۸ | ۸ |
| ۲۳ | ۹۹/۹۷ | ۱۳ |
| ۲۲ | ۹۹/۹۰ | ۴۲ |
| ۲۱ | ۹۹/۱۰ | ۳۸۶ |



شکل ۳-۹ موقعیت ماشین کشاورزی و ماهواره‌های موقعیت‌یاب مکانی

در سمت چپ سیگنال‌ها تنها از سه ماهواره به گیرنده می‌رسند در صورتی که تعداد ماهواره‌ها در سمت راست دقت تعیین موقعیت جغرافیایی افزایش داده است (Poloni 2009)

سیستم GPS با سیگنال‌های کدگذاری شده، سال‌ها است که در اتومبیل یا گیرنده‌های دستی کوچک استفاده می‌شوند. خطای اندازه‌گیری این دستگاه در ناوبری جاده‌ها موردقبول است ولی اکثر عملیات کشاورزی دقیق، دقت بیشتری نیاز دارند و بایستی برای این منظور خطای سیستم را کاهش داد.

دقت مورد نیاز تمامی عملیات زراعی طوری است که لزوماً به دقت RTKGPS نیاز نیست و دقت DGPS جوابگوی خطای قابل قبول اغلب عملیات زراعی است. در حال حاضر DGPS، هزینه بسیار پایینی نسبت به RTKGPS دارد و به طور گسترده نیز در عملیات کشاورزی دقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد.

منابع

- Abd Aziz S, Steward BL, Tang L, Karkee M (2009) Utilizing repeated GPS surveys from field operations for development of agricultural field DEMs. *Trans ASABE* 52(4):1057-1067.
- Chuvieco E, Huete A (2010) *Fundamentals of satellite remote sensing*. CRC Press, Boca Raton.
- CRISP, Centre of Remote Sensing, Imaging & Processing (2010) Principles of remote sensing. Research tutorial 01. <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/intro.htm>.
- Edwards S, Clarke P, Goebell S, Penna N (2008) An examination of commercial network RTK GPS services in Great Britain. School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University, Newcastle upon Tyne.
- Fink MC, Carver G, Johnson RL (2010) The polarization of light by reflection. Omega Optical Inc., Pittsfield, MA, USA. <http://www.photonics.com/Article.aspx?AID=35808>.
- Guyot G (1998) *Physics of the environment and climate*. Wiley, Chichester.
- Heege HJ, Reusch S, Thiessen E (2008) Prospects and results for optical systems for site-specific on-the-go control of nitrogen-top-dressing in Germany. *Precis Agric* 9(3):115-131.
- Heinzel V (2007) Retrieval of biophysical parameters from multi-sensoral remote sensing data assimilated into the crop-growth model CERES-Wheat. Doctoral dissertation, University of Bonn, Bonn
- Heraud JA, Lange AF (2009) Agricultural automatic vehicle guidance from horses to GPS: how we got there, and where we are going. In: Distinguished lecture series, agricultural equipment technology conference, Louisville, 9-12 Feb 2009. ASABE, St. Joseph.
- Kühbauch W (2002) Remote sensing (in German). In: Tagungsband Precision Agriculture Tage, 13-15. März 2002 in Bonn, KTBL Sonderveröffentlichung 038, Darmstadt, pp 79-87.
- Lillesand TM, Kiefer RW (1979) *Remote sensing and image interpretation*. Wiley, New York.
- Liou KN (1976) On the absorption, reflection and transmission of solar radiation in cloudy atmospheres. *J Atmos Sci* 33:798.
- Mansfeld W (2010) *Positioning and navigating by satellites* (in German). Vieweg & Teubner, Wiesbaden.
- McNairn H, Shang J, Jiao X, Champagne C (2009) The contribution of ALOS PALSAR multipolarisation and polarimetric data to crop classification. *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 47(12):3981-3992.

- NASA Earth Observatory (2010) Remote sensing. Absorption bands and atmospheric windows. http://earthobservatory.nasa.gov/Features/RemoteSensing/remote_04.php. Accessed 4 May 2013.
- Paul W, Speckmann H (2004) Radarsensors: new technologies for precise farming (in German). *Landbauforsch Völk* 54(2):73-86.
- Poloni D (2009) Finding position and direction by using satellites (in German). *Neue Landwirtschaft, Berlin* 4:72-75.
- Shimoni M, Borghys D, Heremans R, Milisavljevic N, Derauw D, Pernel C, Orban A (2007) Land cover feature recognition by fusion of POLSAR, POLINSAR and optical data. European Space Agency. POLINSAR. In: The 3rd international workshop on science and application of SAR polarimetry and polarimetric interferometry, Esrin, Frascati, 22-26 Jan 2007.
- Van Diggelen F (2009) A-GPS: assisted GPS, GNSS and SBAS. (GNSS Technology and Applications) Artech House Inc., Boston.

ناوبری دقیق ماشین‌های کشاورزی

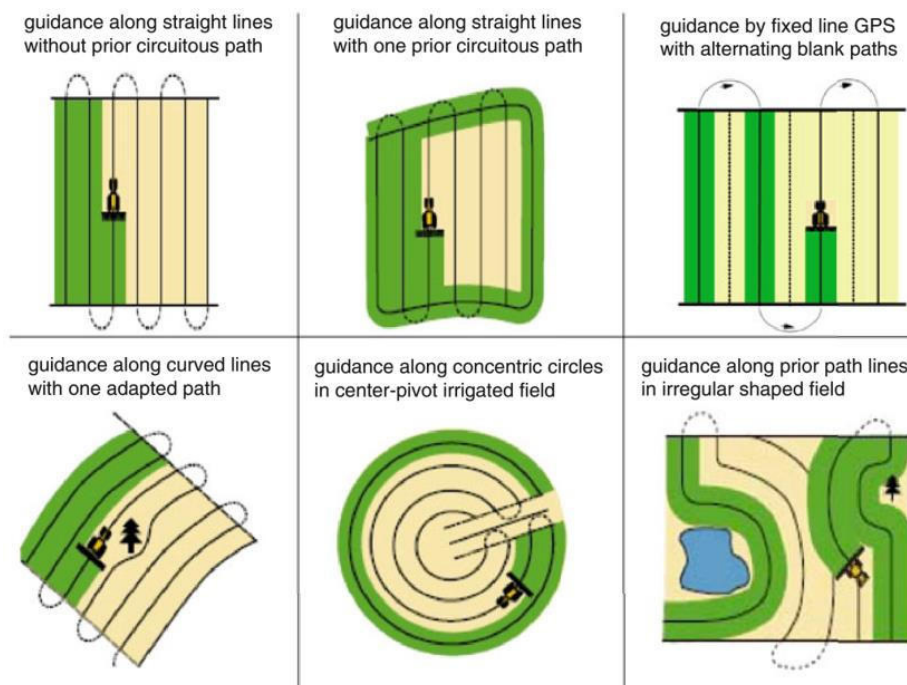
Hermann J. Heege

چکیده: سیستم ماهواره‌ای ناوبری جهانی (GNSS) با خطوط مجازی مرجع جغرافیایی امکان هدایت دقیق ماشین‌های کشاورزی را در مزارع فراهم می‌کند. هدایت ماشین‌های کشاورزی به صورت دستی به کمک شاخص‌های نوری و نیز به صورت اتوماتیک قابل انجام است که با این کار توجه راننده بیشتر بر نظارت بر ماشین خواهد بود. در ناوبری بر اساس عبور قبلی، هر حرکتی در امتداد مزرعه بر اساس یک فاصله عرضی از مسیر قبلی که متناسب با عرض کار عملیات کشاورزی است، انجام می‌شود. برعکس، در روش ناوبری خط ثابت، مسیرهای حرکت از مسیر قبلی پیروی نمی‌کنند، بلکه مسیرها صرفاً بر اساس مسیر عبور اول تعریف می‌شوند. اجرای ناوبری بر اساس عبور قبلی در زمین‌هایی با شکل نامنظم ضروری است، درحالی‌که در زمین‌های چهارگوش ناوبری خط ثابت مناسب‌تر هستند.

در شیب‌ها، با استفاده از چند آنتن GNSS می‌توان انحرافات افقی، عرضی و عمودی تراکتور را حذف کرد. حرکت رو به پایین ادوات در سطوح شیب‌دار را نیز می‌توان با تصحیح فعال یا انفعالی ناوبری، خنثی نمود.

۴-۱ اصول ناوبری

امکان ناوبری دقیق ماشین‌های کشاورزی با توسعه کشاورزی مکان‌ویژه فراهم شده است. با افزایش ظرفیت ماشین‌های کشاورزی (افزایش عرض کار)، هدایت بدون اشتباه وسیله در



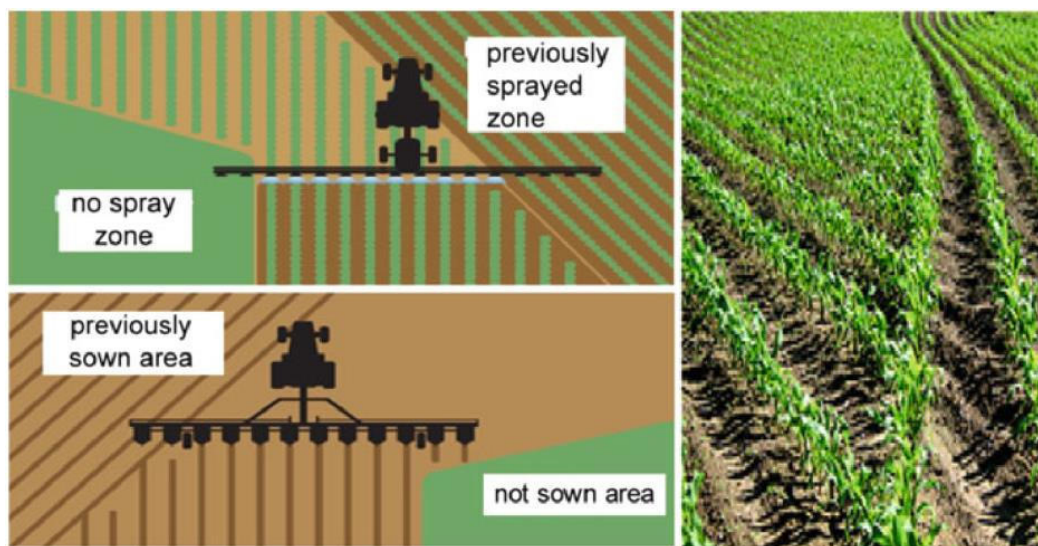
شکل ۴-۶ الگوی حرکت در مزرعه (Agri Con GmbH)

۳-۴ هزینه‌های ناوبری GNSS

سرمایه‌گذاری بر روی سیستم ناوبری بسته به نوع سیستم، به‌طور قابل‌توجهی متغیر است. مهم‌ترین بخش سرمایه‌بر، سرمایه‌گذاری بر روی سیستم زمین مرجع (ژئورفرس) است (جدول ۳-۴). به‌طور معمول، به علت عدم توانایی رانندگان برای هدایت وسیله با میانگین خطای کمتر از ۱۰ cm، سیستم ناوبری به کمک لایت‌بار امکان ترکیب با سیستم RTKGPS را ندارد (Heraud and Lange 2009)؛ بنابراین استفاده از سیستم موقعیت‌یاب بسیار دقیق با دقت کمتر از ۱۰ سانتی‌متر، توجیه اجرایی ندارد و استفاده از DGPS، کافی است. سیستم هدایت دستی با لایت‌بار حدود ۱۰,۰۰۰ یورو سرمایه‌گذاری نیاز دارد، در صورتی‌که سیستم ناوبری خودکار RTK-GPS، نیازمند سرمایه‌گذاری ۴۰,۰۰۰ یورویی است. هزینه‌های سرمایه‌گذاری مازاد بایستی از محل صرفه‌جویی افزایش دقت ناوبری تأمین گردد. به‌صورت تئوریک، این صرفه‌جویی باید ناشی از عوامل اقتصادی فواصل دست‌نخورده بین عبورهای مجاور و همچنین همپوشانی کمتر ردیف‌های عملیاتی باشد. در عمل صرفه‌جویی ناشی از فواصل دست‌نخورده بین عبورهای مجاور به‌سختی اتفاق می‌افتد و کشاورزان به علت احساس بصری بدی که این فواصل به دنبال دارد، با همپوشانی عملیاتی از این کار جلوگیری می‌کنند. لذا، تنها با تمرکز روی حداقل کردن

عملکردی ماشین‌های مربوطه، از جمله واحد کاشت، نازل (افشانک) بوم‌های سم‌پاش و عملگرهای نیوماتیکی و ... ارجاع داده می‌شوند. هر واحد دارای عملگر و وسیله کنترل منحصر به فرد خود است که رفتار آن توسط بخش مرکزی به صورت مکان‌ویژه کنترل می‌شود. چنانچه این تکنیک‌ها به‌طور صحیح مورد استفاده قرار گیرند، دقت بالایی در کارکرد ماشین‌ها در زمین‌های با شکل نامنظم به دست خواهد آمد (شکل ۴-۱۲).

استفاده تجاری از تکنیک‌های کنترل مکانی برای کاربردهای متعددی در زمین‌های با شکل نامنظم توصیه می‌شود. پیش‌بینی می‌شود که در مزارع با شکل نامنظم تا ۲۵ درصد در مصرف بذر و مواد شیمیایی صرفه‌جویی شود (Stombaugh et al. 2009).



شکل ۴-۱۲ کنترل مکان‌ویژه عملیات کشت و سم‌پاشی در مزارع نامنظم ذرت
(Raven Industries Inc.; John Deere & Co.)

منابع

- Bombien M (2005) Comparison of pass by pass driving systems (in German). Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft (RKL), Rendsburg, No. 4.1.0, pp 1203-1224.
- Heraud JA, Lange AF (2009) Agricultural automatic vehicle guidance from horses to GPS: how we got there, and where we are going. In: Distinguished lecture series, agricultural equipment technology conference, Louisville, 9-12 Feb 2009. ASABE, St. Joseph.
- Kellar W, Roberts P, Zelzer O (2008) A self calibrating attitude determination system for precision farming using multiple low-cost complementary sensors. In: Ingensand H, Stempfhuber W (eds) Proceedings of the international conference on machine control and guidance, Zurich, 24-26 June 2008.

- Li Y, Efatmaneshnik M, Cole A (2009) Performance evaluation of AHRS Kalman filter for MOJORTK system. In: Symposium of international global navigation Satellite Systems Society, Surfers Paradise, Queensland, 1–3 Dec 2009.
- Reckleben Y (2008) Electronics in agricultural engineering – example of parallel driving systems (in German). In: ISOBUS “Plugfest” Landberatung Uelzen, 6 Nov 2008. [www.isobus-fuer-alle.de/.../ pdf/vortrag_prof_reckleben.pdf](http://www.isobus-fuer-alle.de/.../pdf/vortrag_prof_reckleben.pdf)
- Reckleben Y (2011) Assistance with automatic guidance (in German). A step to more precise sowing. In: Bauernblatt für Schleswig-Holstein und Hamburg, 27 Aug 2011, pp 40–41.
- Stombaugh TS, Zandonadi RS, Dillon CR (2009) Assessing the potential of automatic section control. In: van Henten EJ, Goense D, Lokhorst C (eds) Precision agriculture '09. Papers presented at the 7th European conference on precision agriculture, Wageningen, 6–8 July 2009. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, pp 759–766.
- UK Agriculture (2013) <http://www.ukagriculture.com/multimedia/farmingpictures.cfm>
- USDA NRCS (2013) <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/newsroom>
- Yazdi N, Ayazi F, Najafi K (1998) Micromachined inertial sensors. Proc IEEE 86(8):1640–1659.

سنجش ویژگی‌های خاک

Hermann J. Heege

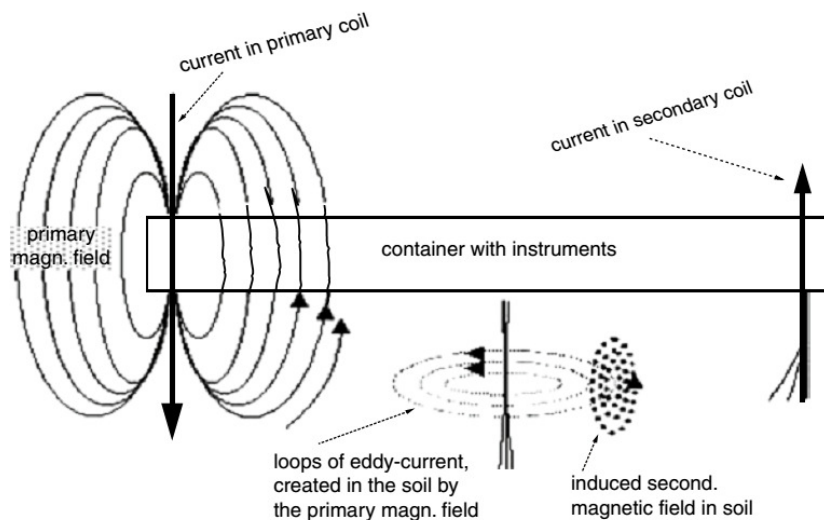
چکیده: سنجش مکان‌ویژه تغییرات ویژگی‌های خاک¹، پیش‌شرط اولیه کنترل بهینه اکثر عملیات کشاورزی است. توپوگرافی مزرعه در حین انجام عملیات زراعی به کمک تکنیک‌های RTK-GPS، قابل نقشه‌برداری است. خصوصیتی از جمله مقدار رس، رطوبت و شوری خاک، به‌طور هم‌زمان از طریق رسانایی الکتریکی قابل‌اندازه‌گیری هستند؛ در زمین‌های مرطوب، هدایت الکتریکی به‌طور عمده متأثر از محتوای رس و آب است و با صرف‌نظر کردن از شوری، این ویژگی‌ها قابل‌اندازه‌گیری و ارزیابی هستند. حاصلخیزی خاک متأثر از برهمکنش این عوامل است و لذا در مناطق مرطوب، سنجش هدایت الکتریکی اطلاعات مفیدی را برای کنترل عملیات کشاورزی با توجه به انتظارات عملکردی موردنیاز فراهم می‌کند.

سنجش هدایت الکتریکی بر اساس حجم توده خاک انجام می‌گیرد که دربرگیرنده خاک سطحی و نیز خاک عمقی است. در مقابل این تکنیک، بازتاب نور مرئی یا فرسرخ تنها سطح‌رویی خاک را سنجش می‌کند و در نتیجه ارزیابی ضعیف‌تری از ویژگی‌های خاک را ارائه می‌دهد؛ با این حال، سنجش بازتابی به‌طور هم‌زمان ارزیابی مجموعه‌ای از ویژگی‌های خاک نظیر بافت، محتوای کربن، ظرفیت تبادل کاتیونی و محتوای رطوبت را فراهم می‌کند.

¹ Natural soil properties



شکل ۴-۵ سنجش آنلاین و در حال حرکت هدایت الکتریکی به روش القای الکترومغناطیس (EM 38 of Geonics LTD, Canada)

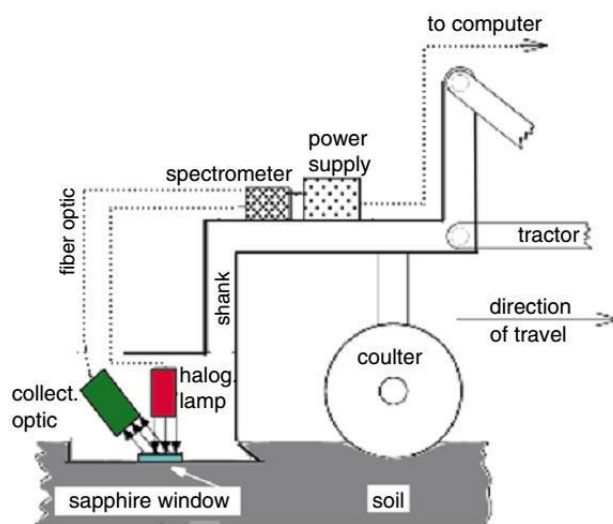


شکل ۵-۵ اصول سنجش ویژگی‌های خاک به روش القای الکترومغناطیسی (Lesch et al. 2005)

ابزار سنجش (شکل ۴-۵ و ۵-۵) دارای دو سیم‌پیچ است، سیم‌پیچ اولیه تولیدکننده میدان یا فرستنده و سیم‌پیچ ثانویه به‌عنوان گیرنده عمل می‌کند. جریان الکتریکی در سیم‌پیچ اولیه جاری شده و میدان مغناطیسی در اطراف آن تولید می‌کند که این میدان به خاک القا و در خاک میدان مغناطیسی اولیه^۱ ایجاد می‌شود، با حرکت حسگر میدان مغناطیسی اولیه جریان گردابی^۱ در

^۱ Primary magnetic field

در شکل ۵-۲۵ و ۵-۲۶، مقدار طیف متغیر را در هر ۸ سانتی‌متر از مسیر پیشروی اندازه‌گیری می‌کنند. روش‌های اجرایی کنونی برای ایجاد طیف میانگین نیازمند ۵۰ قرائت است، بنابراین در هر ۴ متر از مسیر پیشروی، یک سیگنال محاسبه خواهد شد و با عرض کار ۲۰ متری، تقریباً ۱۲۵ قرائت در هکتار تهیه خواهد شد.



شکل ۵-۲۵ اصول سنجش در حال حرکت، ویژگی‌های خاک توسط بازتاب نزدیک فروسرخ (Christy 2008)



شکل ۵-۲۶ نقشه‌برداری همزمان بازتاب نزدیک فروسرخ در زیر تیغه کولتیواتور و رسانایی الکتریکی در حالت تماسی (Veris Technologies, Salina, USA)

تکنیک‌های متعددی برای سنجش ویژگی‌های خاک در حال مطالعه و توسعه هستند. به‌عنوان مثال تکنیک‌های سنجش رطوبت خاک مبتنی بر امواج رادار یا ظرفیت خازنی و به‌خصوص تکنیک‌های سنجش هم‌زمان چندین ویژگی خاک با استفاده از بازتاب فرسرخ.

منابع

- Abd Aziz S, Steward BL, Tang L, Karkee M (2009) Utilizing repeated GPS surveys from field operations for development of agricultural field DEMs. *Trans ASABE* 52(4):1057-1067
- Adamchuk VI, Mat Su AS, Eigenberg RA, Ferguson RB (2011) Development of an angular scanning system for sensing vertical profiles of soil electrical conductivity. *Trans ASABE* 54(3):757-767
- Allred BJ, Daniels JJ, Ehsani MR (2008) *Handbook of agricultural geophysics*. CRC Press, Boca Raton
- Baghdadi N, Cerdan O, Zribi M, Auzet V, Darboux F, El Hajj M, Bou Kheir R (2008) Operational performance of current synthetic aperture radar sensors in mapping soil surface characteristics in agricultural environments: application to hydrological and erosion modelling. *Hydrol Process* 22:9-20
- Balik Sanli F, Kurucu Y, Esetili MT, Abdikan S (2008) Soil moisture estimation from Radarsat-1, Asar and Palsar data in agricultural fields of Menemen plane of Western Turkey. *The international archives of the photogrammetry, Remote sensing and spatial information sciences, Beijing, vol. XXXVII, Part B7, pp 75-81*
- Baumgardner MF, Silva LF, Biehl LL, Stoner ER (1986) Reflectance properties of soils. *Adv Agron* 38:1-44
- Bevan B (1998) *Geophysical exploration for archaeology: an introduction to geophysical exploration*. Midwest Archaeological Center. National Park Service, US Department of the Interior. Special Report No. 1:13
- Brevik EC, Fenton TE, Lazari A (2006) Soil electrical conductivity as a function of soil water and implications for soil mapping. *Precis Agric* 7:393-404
- Brickleyer RS, Brown DJ (2010) On-the-go VisNIR: potential and limitations for mapping soil clay and organic matter. *Comput Electron Agric* 70:209-216
- Brown DJ, Shepherd KD, Walsh MG, Mays MD, Reinsch TG (2006) Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma* 132:273-290
- Cardon GE, Davis JG, Bauder TH, Waskom RM (2010) Managing saline soils. Ext. paper no. 0.503. Colorado State University, Fort Collins. www.ext.colostate.edu
- Christy CD (2008) Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near-infrared reflectance spectroscopy. *Comput Electron Agric* 61:10-19
- Corwin DL (2008) Past, present and future trends of soil electrical conductivity measurement using geophysical methods. In: Allred BJ, Daniels JJ, Ehsani MR (eds) *Handbook of agricultural geophysics*. CRC Press, Boca Raton, pp 19-44
- Domsch H, Kaiser T, Witzke K, Giebel A (2003) Precision farming – the indirect way (in German). *Neue Landwirtschaft* 5:48-50
- Drücker H, Zeng Q, Sun Y, Roller O, Schulze Lammers P, Hartung E (2009) Sensory recording of soil moisture during tillage near the ground level (in English and German). *Landtechnik* 64(4):272-275

Zhang N, Fan G, Lee KH, Kluitenberg GJ, Loughin TM (2004) Simultaneous measurement of soil water content and salinity using a frequency-response method. *Soil Sci Soc Am J* 68:1515-1525

Zhu Y, Weindorf DC, Chakraborty S, Haggard B, Johnson S, Bakr N (2010) Characterizing surface soil water with field portable diffuse reflectance spectroscopy. *J Hydrol* 391:133-140.

سنجش خواص محصول

Hermann J. Heege and Eiko Thiessen

چکیده

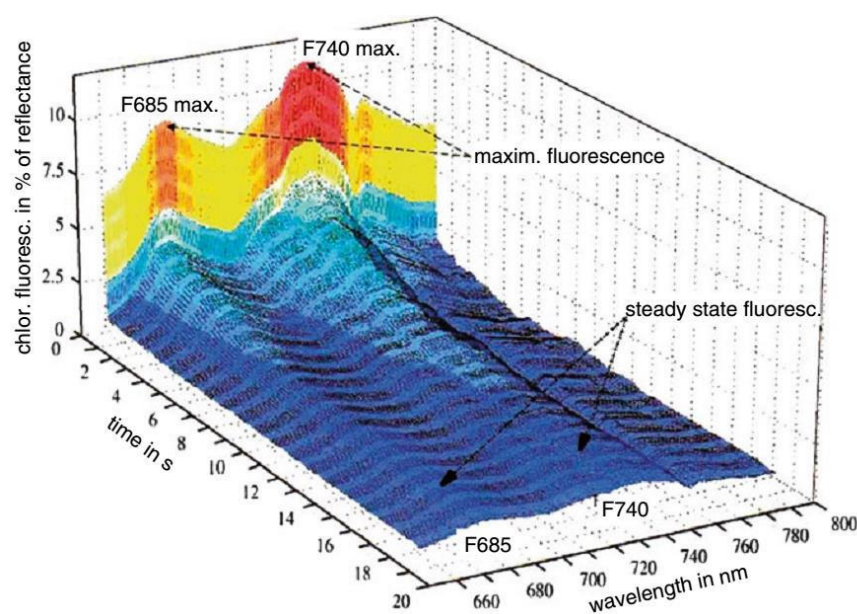
سنجندهای محصول با استفاده از بازتاب مرئی و فروسرخ قادر به تخمین غلظت کلروفیل برگ و شاخص سطح برگ هستند. شاخص به دست آمده از ترکیب غلظت کلروفیل برگ و شاخص سطح برگ بیانگر میزان کلروفیل در واحد سطح مزرعه است. ثبت مکرر این معیار در طول فصل زراعی این امکان را فراهم می کند تا برآورد قابل اعتمادی از پتانسیل عملکرد مکان ویژه بر اساس شرایط رشد سپری شده داشته باشیم.

با استفاده از نور فلورسنت امکان سنجش غلظت کلروفیل در برگ و یا عملکرد دستگاه فتوسنتزی گیاهان وجود دارد. بازتاب فروسرخ و پرتوهای حرارتی می توانند برای کسب اطلاعات دقیق محتوای رطوبت مکان ویژه گیاهان مورد استفاده قرار گیرند. در مناطق بزرگ با استفاده از بازتاب امواج رادار می توان اطلاعات مناسبی از مقدار زیست توده، شاخص سطح برگ و گونه های زراعی (برای طبقه بندی پوشش گیاهی) را به دست آورد.

سنجندهای مجاورتی نصب شده بر روی ماشین های کشاورزی امکان کنترل مکان ویژه مستقیم عملیات زراعی را به صورت بلادرنگ فراهم می کنند. از سوی دیگر، سنجنده های ماهواره ای (سنجش ازدور) برای ثبت مکرر وضعیت مزارع و یا مناطق بزرگ تر در طول فصل رشد

۶-۴-۲ سنجش فلورسانس در شرایط ناپایدار

کائوتسکی و هرش^۱ (۱۹۳۱) با اندازه‌گیری شدت فلورسانس برگ‌هایی که در تاریکی نگه‌داری شده و به‌صورت ناگهانی در معرض نور قرار می‌گرفتند، این روش را ابداع نمودند. زمانی که شدت نور بسیار کم و سپس به‌یک‌باره افزایش یابد، شدت فلورسانس با سرعت زیادی به حداکثر مقدار خود می‌رسد که با تداوم نوردهی شدت فلورسانس به‌تدریج نزول می‌کند. سقوط فلورسانس در چند ثانیه اتفاق می‌افتد و درنهایت - با ادامه روشنایی - فلورسانس به سطح پایدار می‌رسد (شکل ۶-۱۵). واکنش فلورسانس به تغییرات روشنایی را اثر کائوتسکی می‌نامند.



شکل ۶-۱۵ طیف فلورسانس کلروفیل برگ ذرت طی ۵ دقیقه ماندگاری در تاریکی. منبع روشنایی لامپ زنون ۳۰۰ وات است که در زمان صفر روشن شده است. این آزمایش برای شبیه‌سازی تابش خورشید انجام شده است. اگرچه صعود اولیه فلورسانس با توجه به اثر کائوتسکی قابل‌مشاهده نیست ولی کاهش تدریجی فلورسانس و پایداری نهایی آن آشکار است. حداکثر فلورسانس کلروفیل در طول موج ۶۸۵ و ۷۴۰ نانومتر (شکل ۶-۱۲) اتفاق افتاده است (Entcheva Campbell et al. 2008)

مبنای فیزیولوژیکی این پدیده براین اصل استوار است که تولید فتوشیمیایی گیاه برای رسیدن به حالت پایدار نیازمند تنظیم فعالیت در بازه زمانی معینی است. افزایش اولیه شدت

¹ Kautsky and Hirsch

جدول ۶-۲ طیف‌سنجی (اسپکتروسکوپی) مقدار آب کانوی پی گیاه

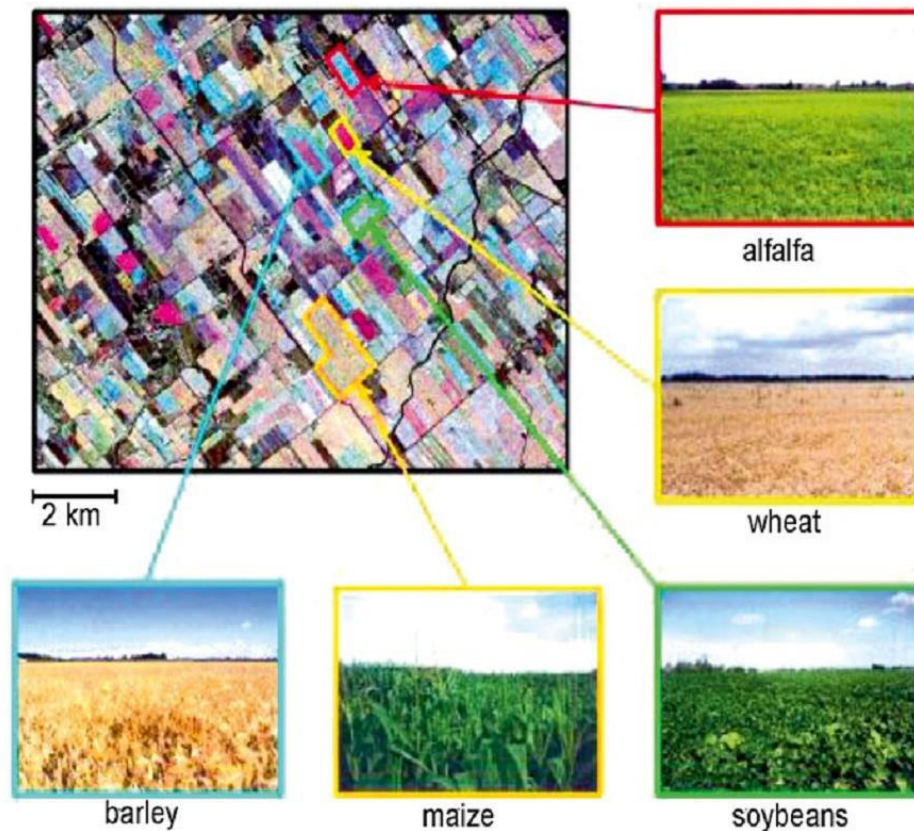
| منبع | R ² | شاخص بازتاب R (nm) | گونه گیاهی | روش سنجش |
|-------------------------------|----------------|----------------------------------|------------------------------|------------|
| Jones et al. (2004) | ۰/۶۷ | R1450 | ذرت | آزمایشگاهی |
| | ۰/۶۱ | R2250 | (<i>Zea mays</i>) | |
| | ۰/۹۴ | R960 | | |
| | ۰/۹۳ | R1150 – 1260 | | |
| | ۰/۸۵ | R1450 | اسفناج | |
| | ۰/۸۰ | R1950 | (<i>Spinacea oleracea</i>) | |
| | ۰/۷۹ | R2250 | | |
| Penuelas et al. (1993) | ۰/۷۹ | R970/R900 | سه وارپته | آزمایشگاهی |
| | ۰/۸۶ | R970/R900 | (<i>Gerbera jamesonii</i>) | |
| | ۰/۸۴ | R970/R900 | | |
| Sims and Gamon (2003) | ۰/۷۵ | R960 | میانگین ۲۳ گونه، | مزرعه‌ای |
| | ۰/۸۱ | R1180 | | |
| Sonnenschein et al. (2005) | ۰/۹۰ | R900/R970 static ^a | گندم | مزرعه‌ای |
| | ۰/۹۰ | R900/R930 – 990 var ^b | (<i>Triticum aestivum</i>) | |
| | ۰/۹۰ | R900/R981 | گندم | |
| Yang and Su (2000) | ۰/۸۱ | R697 | برنج | مزرعه‌ای |
| | ۰/۹۰ | R1508 | | |
| | ۰/۸۶ | R2113 | | |

^a Denominator and denominator static as listed

^b Denominator static, denominator was varied between R930 and R990

طول موج‌های شاخص در محدوده نسبتاً عریضی از ۶۹۷ تا ۲۲۵۰ نانومتر و به عبارتی در ناحیه نزدیک فروسرخ (۱,۳۰۰-۷۰۰ نانومتر) و ناحیه فروسرخ موج کوتاه (۲,۵۰۰-۱,۳۰۰ نانومتر) واقع شده‌اند. پرتو نزدیک فروسرخ با توجه به بالاترین پراکندگی برگ‌گی در تاج پوشش، بیشترین بازتاب از برگ را دارند و فروسرخ موج کوتاه بیشترین جذب توسط آب (مایع) را دارد؛ اما در خصوص نحوه تأثیر این خاصیت ویژه آب (مایع)، اطلاعات دقیقی در دسترس نیست. اگرچه ضرایب تبیین ناحیه نزدیک فروسرخ و فروسرخ موج کوتاه نسبتاً بالا است (جدول ۶-۲)، ولی

امکان عملیات و اندازه‌گیری نیز محدودیت دوم برای سنجش‌های تکمیلی است. به‌عنوان مثال در مناطق دریایی، به علت شدت ابر، ممکن است روزهای متمادی امکان سنجش‌ازدور نور مرئی و فرسرخ از طریق ماهواره وجود نداشته باشد.



شکل ۶-۲۱ نقشه‌برداری (ژئورفرنس) و تعیین نوع پوشش گیاهی ماهواره‌ای با استفاده از امواج راداری قطبی شده (Pottier and Ferro-Famil 2004)

منابع

- Alchanatis V, Cohen Y, Cohen S, Moeller M, Sprinstin M, Meron M, Tsipris J, Saranga Y, Sela E (2010) Evaluation of different approaches for estimating and mapping crop water status in cotton with thermal imaging. *Precis Agric* 11:27-41
- Brisco B, Brown RJ (1998) Agricultural applications with radar. In: Henderson FM, Lewis AJ (eds) *Principles and applications of imaging radar. Manual of remote sensing*, 3 edn, vol. 2. Wiley & Sons, New York
- Buerling K, Hunsche M, Noga G (2009) Early detection of puccinia triticina infection in susceptible and resistant wheat cultivars by chlorophyll fluorescence imaging technique. In: van Henten EJ, Goense D, Lockhorst C (eds) *Precision agriculture '09*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, pp 211-217

- Moeller M, Alchanatis V, Cohen Y, Meron M, Tsipris J, Naor A, Ostrowsky V, Sprintsin M, Cohen S (2007) Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. *J Exp Bot* 58(4):827–838
- Monteith JL (1972) Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *J Appl Ecol* 9(3):744–766
- Moshou D, Bravo C, Oberti R, Bodria L, Vougioukas S, Ramon H (2009) Intelligent autonomous system for the detection and treatment of fungal diseases in arable crops. In: van Henten EJ, Goense D, Lockhorst C (eds) *Precision agriculture '09*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, pp 265–272
- Moya I, Camenen L, Evain S, Goulas Y, Cerovic ZG, Latouche G, Flexas L, Ounis A (2004) A new instrument for passive remote sensing. 1. Measurements of sunlight-induced chlorophyll fluorescence. *Remote Sens Environ* 91:186–197
- Pacheco A, Bannari A, Staenz K, McNairn H (2008) Deriving percent crop cover over agriculture canopies using hyperspectral remote sensing. *Can J Remote Sens* 34(1):S110–S123
- Payero JO, Irmak S (2006) Variable upper and lower crop water stress index baselines for corn and soybeans. *Irrig Sci* 25:21–32
- Peng Y, Gitelson AA, Keydan G, Rundquist DC, Leavitt B, Verma SB, Suyker AE (2010) Remote estimation of gross primary production in maize. In: *Proceedings of the 10th conference on precision agriculture*, Denver, 18–21 July 2010
- Peng Y, Gitelson AA, Keydan G, Rundquist DC, Moses W (2011) Remote estimation of gross primary production in maize and support for a new paradigm based on total crop chlorophyll content. *Remote Sens Environ* 115:978–989
- Penuelas J, Filella I, Biel C, Serrano L, Save R (1993) The reflectance at the 950–970 nm region as an indicator of plant water status. *Int J Remote Sens* 14:1887–1905
- Pierce FJ, Chavez JL, Elliott TV, Matthews GR, Evans RG, Kim Y (2006) A remote-real-time continuous move irrigation control and monitoring system. In: Paper no. 062 162, 2006 ASABE annual international meeting, Portland, 2006
- Pottier E, Ferro-Famil L (2004) Analyse temps-frequence de milieux anisotropes a partir de donnees SAR polarimetrique. In: *Journee "Imagerie Polarimetrique" GDR ISIS, GDR Ondes*, Paris, 16–17 Mar 2004
- Raun WR, Solie JB, Johnson GV, Stone ML, Lukins EV, Thomason WE, Schepers JS (2001) In-season prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance. *Agron J* 93:131–138
- Reusch S (1997) Development of an optical reflectance sensor for recording the nitrogen supply of agricultural field crops (in German). Doctoral dissertation, Department of Agricultural Systems Engineering, University of Kiel, Kiel. *Forschungsbericht Agrartechnik, VDI-MEG* 303
- Rosema A, Verhoef W, Schroote J, Snel JFH (1991) Simulating fluorescence light- canopy interaction in support of laser-induced fluorescence measurements. *Remote Sens Environ* 37:117–130
- Sadler EJ, Evans R, Buchleiter G, King B, Camp C (2000) Venturing into precision agriculture. *Irrig J* 50:15–17
- Sadler EJ, Camp CR, Evans DE, Millen JA (2002) Corn canopy temperature measured with a moving infrared thermometer array. *Trans Am Soc Agric Eng* 45(3):581–591
- Schwartz JW, Piston D, DeFelice LJ (2006) Molecular microfluorometry: converting arbitrary fluorescence units into absolute molecular concentrations. *Handb Exp Pharmacol* 175:23–57
- Serrano L, Filella I, Penuelas J (2000) Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. *Crop Sci* 40:723–731

- Shimoni B, Borghys D, Heremans R, Perneel C, Acheroy M (2009) Fusion of PolSAR and PolInSAR data for land cover classification. *Int J Appl Earth Obs Geoinform* 11:169–180
- Sims DA, Gamon JA (2003) Estimation of vegetation water content and photosynthetic tissue area from spectral reflectance. *Remote Sens Environ* 84:526–537
- Sonnenschein R, Jarmer T, Vohland M, Werner W (2005) Spectral determination of plant water content of wheat canopies. In: Zagajewski B et al. (eds) Proceedings of the 4th EARSel. Workshop of imaging spectroscopy. New quality in environmental studies. Warsaw University, Warsaw, pp 727–737
- Steingieser R, Kühbauch W (1998) Recording of fresh and dry biomass and estimation of fresh biomass from winter barley in various regions of Europe by an airborne radar-sensor (in German). *J Agron Crop Sci* 181(3):145–152
- Stickel E, Huber G, Liebler J, Schächtl J (2004). The effect of diurnal variations of canopy reflectance on the assessment of biomass formation in wheat. In: Precision Agriculture Center, University of Minnesota (ed) Remote sensing, seventh international conference on precision agriculture, Minneapolis, 25–28 July 2004
- Thiessen E (2002) Optical sensing techniques for site-specific application of farm chemicals (in German). Doctoral dissertation, University of Kiel, Kiel. Forschungsbericht Agrartechnik, VDI-MEG 399
- Ulaby FT, Dubois PC, van Zyl J (1996) Radar mapping of surface soil moisture. *J Hydrol* 184:57–84
- Verhoef W (1984) Light scattering by leaves with application to canopy reflectance modelling. *Remote Sens Environ* 16:125–141
- Yang CM, Su MR (2000) Analysis of spectral characteristics of rice canopy under water deficiency. In: Proceedings of the Asian conference on remote sensing 2000. Session agriculture and soil, Taipei, 4–8 December 2000.

خاک‌ورزی مکان‌ویژه

Hermann J. Heege

چکیده

آماده‌سازی خاک به صورت مکان‌ویژه چندین هدف را دنبال می‌کند. در خاک‌ورزی اولیه، هدف اصلی کنترل عمق کار است. پارامترهای کنترلی این هدف عبارت‌اند از مقدار رس، مواد آلی، ویژگی‌های هیدرومورفیک (آب‌شناسی) و شیب خاک که به کمک یک الگوریتم، سیگنال کنترل عمق را می‌توان محاسبه نمود. مقاومت خاک به نفوذ، یک سیگنال کنترلی مناسب برای سنجش لایه سخت زیرین خاک سطحی است، اما از آنجاکه مقاومت خاک به شدت تابعی از رطوبت خاک است، این پارامتر برای کنترل عمق کار در خاک سطحی مناسب نیست.

یکی از اهداف اصلی خاک‌ورزی ثانویه، کاهش اندازه کلوخ‌ها است. سیگنال‌های کنترلی مکان‌ویژه در این مورد را می‌توان از نیروهایی که روی تیغه کولتیواتور عمل می‌کنند، به دست آورد. انحراف معیار ناشی از اندازه این نیروها می‌تواند یک سیگنال کنترلی مناسبی را فراهم کند. خاک‌ورزی حفاظتی یا خاک‌ورزی فصل‌آیش، بسته به اهداف تناوب کشت، اقلیم منطقه، کنترل فرسایش خاک، تجزیه سریع یا آهسته بقایای کشت روش‌های متفاوتی را دنبال می‌کنند. ظهور ماشین‌های کشاورزی بدون سرنشین و کنترل تردد ادوات کشاورزی، کاهش خاک‌ورزی وسیع و فراتر از حال حاضر را در آینده نه‌چندان دور نوید می‌دهد.

مشکل آفرین است. در استرالیا استفاده از عرض مسیر استاندارد برای همه ماشین‌ها در اجرای عملیات کشاورزی امکان‌پذیر است (شکل ۷-۱۴، بالا). اگرچه این ایده در اروپا متولد شده است، ولی ترافیک کنترل‌شده عمدتاً برای تناوب غلات و دانه‌های روغنی (کلزا) استفاده می‌شود و عملیات ترافیک کنترل‌شده در مزارع کشت علوفه‌ای و گیاهان ریشه‌ای نیاز به کار بیشتری دارد. مفاهیم و مشکلات تراکم خاک به‌طور فنی برای کارشناسان تفهیم شده است و چشم‌انداز گسترش عملیات بی‌خاک‌ورزی هموار است. باید متذکر شد که استانداردهای عرض ادوات قابل تغییر است و بر اساس شرایط و الزامات زمانی باید بازبینی شوند.

رویکرد دیگر برای کاهش فشردگی خاک و حذف خاک‌ورزی، استفاده از ماشین‌های کشاورزی بدون سرنشین یا ربات است. در حال حاضر یکی از نتایج استفاده از ماشین‌های کشاورزی بزرگ و سنگین بهبود بهره‌وری راننده (نرخ کار بالا در واحد زمان) است. سیستم‌های مدرن هدایت خودکار مانند RTK-GPS و دیگر سیستم‌های کنترلی قادر به حذف راننده دائمی هستند. به‌محض اینکه راننده و یا اپراتور دائمی ماشین‌های کشاورزی حذف شود، انگیزه استفاده از تجهیزات و ماشین‌های بزرگ و سنگین از بین خواهد رفت. کنترل هوشمند داشتن چندین ماشین کوچک به‌جای یک ماشین بزرگ را به دلیل هزینه‌های پایین نیروی کار توجیه‌پذیر می‌کند. ادوات رباتیک قادر به کار در تمام ساعات شبانه‌روز هستند. مانورپذیری و تردد ربات‌ها در زمین‌های کوچک و نامنظم، انعطاف‌پذیرتر و راحت‌تر است. ربات‌های کوچک‌تر، فشردگی خاک را کاهش داده و مناسب شیوه‌های بی‌خاک‌ورزی هستند.



شکل ۷-۱۵ نمونه تراکتور (اندازه متوسط) بدون سرنشین

امروزه، ربات‌های موجود قادر به انجام عملیات نسبتاً ساده مانند درو و یا انتقال برنج هستند. ربات‌های دیگری، با هدف گشت‌زنی جهت تشخیص علف‌های هرز، بیماری‌ها، حشرات و یا برای نمونه‌برداری خاک در مزرعه تردد می‌کنند (Blackmore 2007). عملیات متعدد کشاورزی در صف انتظار راه‌حل رباتیکی هستند. گسترش ربات‌های کوچک راه‌حل مناسب و جایگزین ماشین‌های سنگین کشاورزی است. ماشین‌های سنگین و فعالیت‌های متعدد کشاورزی که فشردگی خاک را تشدید می‌کنند، مشوق توسعه ربات‌هایی هست که کشت را بدون هیچ شخمی انجام دهد.

منابع

- Adamchuk VI, Ingram TJ, Sudduth KA, Chung SO (2008) On-the-go mapping of soil mechanical resistance using a linear depth effect model. *T ASABE* 51:1885–1894
- Bertuzzi P, Stengel P (1988) Measuring effects of tillage implements on soil surface geometry with a laser relief meter. In: *Proceedings of the 11th international conference of the International Soil Tillage Research Organization (ISTRO)*, Edinburgh, 1988
- Blackmore BS (2007) A systems view of agricultural robots. In: Stafford V (ed) *Precision agriculture '07*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, pp 23–31
- Bogrecki I, Godwin RJ (2007a) Development of an image-processing technique for soil tillth sensing. *Biosyst Eng* 97:323–331
- Bogrecki I, Godwin RJ (2007b) Development of a mechanical transducer for real-time soil tillth sensing. *Biosyst Eng* 98:127–137.
- Bowers SA, Hanks RJ (1965) Reflection of radiant energy from soils. *Soil Sci* 100:130–138
- Brunotte J (2007) Measuring the actual trafficability by online sensors – a practical solution? (in German). In: *Strategien zum Bodenschutz – Sachstand und Handlungsbedarf*. Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung e.V., Neuenhagen
- Chamen WTC (1998) Soil cultivation: new methods and technologies. In: *Club of Bologna, Proceedings of the 9th meeting, Bologna, 15–16 Nov 1998* (Editione Unacoma Service srl), pp 73–85
- Chamen T, Alakukku L, Pires S, Sommer C, Spoor G, Tijink F, Weisskopf P (2003) Prevention strategies for field traffic induced compaction: a review. *Soil Till Res* 73:161–174
- CTF Controlled Traffic Farming (2009) What is controlled traffic farming? <http://www.controlledtrafficfarming.com/downloads/DL%20files.PDF>
- Destain MF, Verbrugge JG (1987) Measurement of soil surface profiles with an optical displacement transducer. In: *Proceedings of the 9th international conference of the international society of terrain vehicle systems, Barcelona, 1987*
- Dexter AR (1988) Advances in characterization of soil structure. *Soil Till Res* 11:199–238

- engineering for a better world, Bonn, 3-7 Sept 2006. Book of Abstracts, pp 175-176
- Pforte F, Hensel O (2010) Development of an algorithm for online measurement of percent residue cover. *Biosyst Eng* 106:260-267
- Satkus A, Velykis A (2008) Modeling of seedbed creation for spring cereals in clayey soils. *Agronomy Res* 6 (special issue): 329-339
- Scarlett AJ, Lowe JC, Semple DA (1997) Precision tillage: in field real time control of seedbed quality. In: Stafford JS (ed) *Precision Agriculture 1997. Proceedings of the first European conference on precision agriculture*, Warwick, Sept 9-10 1997. Bios Scientific Publishers, Oxford, pp 503-511
- Schillinger WF, Papendick RI (2008) Then and now: 125 years of dryland wheat farming in the Inland Pacific Northwest. *Agron J* 100:166-188
- Sommer C, Vosshenrich HH (2004) Soil cultivation and sowing. Management system for site-specific crop production (in German). *Verbundprojekt Preagro. Endbericht, Kapitel 4. Herausgegeben vom KTB (CD-ROM): 101-120.* <http://www.preagro.de/Veroeff/Liste.php3>
- Stafford JV, Ambler B (1990) Computer vision as a sensing system for soil cultivator control. In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers (ImechE) C419/041, IME Conference on Mechatronics*, Cambridge, UK, Sept. 1990, pp 123-129
- Sun Y, Schulze Lammers P, Damerow L (2003) A dual sensor for simultaneous investigation of soil cone index and moisture content. *Agric Eng Res* 9:12
- Taeger-Farny W (2003) Working depth as needed. Experiences with site-specific soil cultivation (in German). *Neue Landwirtschaft, Sonderheft*, pp 66
- Tullberg JN, Yule DF, McGarry D (2007) Controlled traffic farming. From research to adoption in Australia. *Soil Till Res* 97:272-281
- Vosshenrich HH, Sommer C (2005a) Not too much and not too little. How much break up with site-specific soil cultivation (in German). *Neue Landwirtschaft, Berlin, Heft 11: 54*
- Vosshenrich HH, Sommer C (2005b) Is online controlled site-specific soil cultivation possible? (in German). *Neue Landwirtschaft, Berlin, Heft 12: 41*
- Winkelblech CS, Johnson WH (1964) Soil aggregate separation characteristics of secondary tillage tools components. *T ASAE* 7(1):29-33
- Wuest SB, Schillinger WF (2011) Evaporation from high residue no-till versus tilled fallow in a dry summer climate. *Soil Sci Soc Am J* 75(4):1513-1519
- Zaikin AA, Young DL, Schillinger WF (2007) Economic comparison of undercutter and traditional tillage systems for winter wheat-summer fallow. *Farm business management report*. Washington State University, Pullman
- Zheng R, Campbell JB, de Beurs KM (2012) Remote sensing of crop residue cover using multitemporal Landsat imagery. *Remote Sens Environ* 117:177-183
- Zuo Y, Erbach DC, Marley SJ (2000) Soil structure evaluation by using a fiber-optic sensor. *Trans ASAE* 43:1317-1322.

کاشت مکان‌ویژه بذر

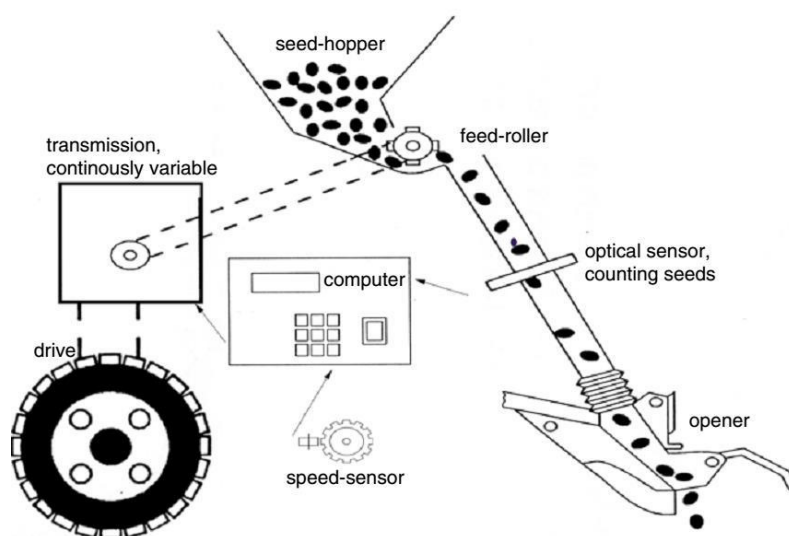
Hermann J. Heege

چکیده

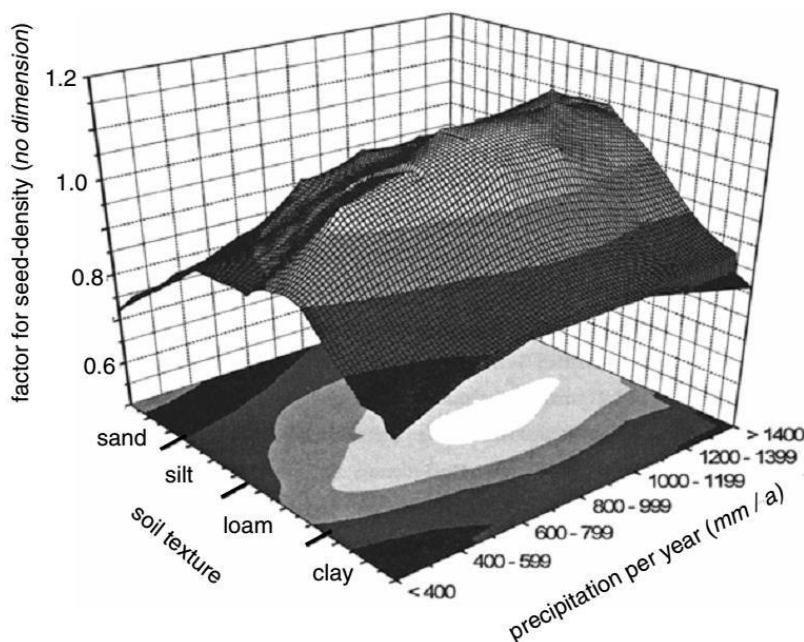
میزان تراکم مکان‌ویژه بذر را می‌توان بر اساس نقشه بافت خاک کنترل کرد. با تغییر بافت خاک از شن به سیلت و لوم می‌توان بذر را با تراکم بیشتری کاشت و با جابجایی به افزایش رس مجدداً باید از تراکم بذر کاست. چنین تغییر عملیاتی به افزایش عملکرد یا صرفه‌جویی در میزان بذر کاشته شده منجر خواهد شد.

کنترل مکان‌ویژه عمق کاشت نیز می‌تواند بر اساس بافت و یا محتوای رطوبت خاک انجام گیرد. در مناطقی با اقلیم رطوبی و بارانی، کنترل بر اساس بافت خاک منطقی‌تر است. سیستم کنترلی با استفاده از نقشه‌های بافت خاک و حسگر سنجش فاصله التراسونیک عمق شیاریازکن را به صورت در حال حرکت تنظیم می‌کند. در مناطق با اقلیم قاره‌ای با تنش‌های کم‌آبی طولانی‌مدت، کنترل عمق مبتنی بر محتوای رطوبت خاک، انتخاب خوبی است. در این مناطق سیستم کنترل جستجوی رطوبت خاک از طریق سنجنده بازتاب فروسرخ یا مقاومت الکتریکی، عمق کاشت را در حال حرکت تنظیم می‌کند.

چالش اصلی در کاشت مکان‌ویژه، مشکلات فزاینده بقایای محصول روی سطح مزرعه در کاشت بی‌خاک‌ورزی است. چالش دیگر کاهش مکرر پهنای ردیف (کشت فشرده) به منظور افزایش عملکرد است. پژوهشگران به دنبال راهکارهایی برای غلبه بر این محدودیت‌ها هستند که برخی از آن‌ها در ادامه بحث خواهد شد.

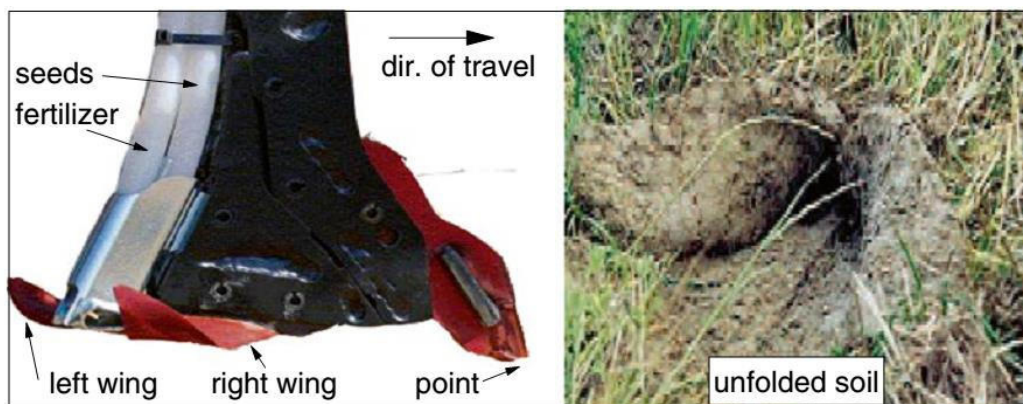


شکل ۲-۸ کنترل حلقه بسته نرخ بذر، مبتنی بر شمارنده بذور کوچک
(Heeg and Feldhaus 2002)



شکل ۳-۸ تراکم بذر گندم پاییزه مبتنی بر بافت خاک و بارش در متوسط دمای سالانه ۸°C
(Wiesehoff 2005)

همان‌طور که از شکل ۳-۸ مشخص است، تأثیر بافت خاک بیشتر از اثر بارش است. در خاک سیلتی یا لومی همیشه باید بذور با تراکم بیشتری نسبت به خاک شنی یا رسی کشت گردد. یکی از دلایل احتمالی آن قدرت حفظ رطوبت بیشتر در خاک‌های سیلتی یا لومی در طول فصل



شکل ۸-۱۵ توزیع بذر در زیر شیار بازکن باله‌ای Collovati (Tonutti Spa, Remanzacco, Italy)

منابع

- Alberta Farm Machinery Research Centre (1994) Evaluation report 713. Kee Ultrasonic depth control system. Prairie Agricultural Machinery Institute, Humboldt, pp 1-10
- Auernhammer H (1989) Electronics in tractors and machines (in German). BLV Verlagsgesellschaft, Munich
- Bowers CG, Bowen HD (1975) Drying front sensing and signal evaluation for planters. Trans Am Soc Agric Eng 18(6):1051-1058
- Bowers CG, Collins CA, Harris EP (2006) Low soil moisture planting of cotton for optimum emergence. Appl Eng Agric 22(6):801-808
- Carter LM, Chesson JH (1993) A soil moisture seeking planter control. ASAE Winter Meeting, Chicago, Paper no. 931553
- Collovati M (2008) Frustration led to new no-till opener design. No-Till Farmer, April 2008, pp 14-15. www.no-tillfarmer.com
- Cox WJ, Cherney JH (2011) Growth and yield responses of soybean to row spacing and seeding rate. Agron J 103(1):123-128
- Derpsch R (1998) Historical review of no-tillage cultivation of crops. In: Proceedings of the first JIRCAS seminar on soybean research, Iguassy Falls. Working report no. 13, pp 1-18
- Dyck FB, Wu WK, Lesko R (1985) Automatic depth control for cultivators and air seeders developed under the AERD program. In: Proceedings of the Agri-Mation I. Conference and exhibition, 25-28 Feb 1985, St. Joseph, pp 265-277
- Feldhaus B (1997) Seed counting and closed loop control for drills with volumetering (in German). Doctoral thesis, University of Kiel, Kiel. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max Eyth Gesellschaft Agrartechnik im VDI, Nr. 302
- Heege HJ (1967) Equidistant spacing-, drilling- and broadcast sowing of small cereals with spezial reference to the seed distribution over the area (in German). KTL-Berichte über Landtechnik 112, Helmut-Neureuter Verlag, München-Wolfratshausen
- Heege HJ (1970) Seed distribution over the soil surface with with drilled and broadcast cereals (in German). Grundlagen der Landtechnik 20: 45 (in English: Translation No. 529 of the National Institute of Agricultural Engineering, Wrest Park, Silsoe, 1985)

- Scarlett AJ (2001) Integrated control of agricultural tractors and implements: a review of potential opportunities relating to cultivation and crop establishment machinery. *Comput Electron Agric* 30:167–191
- Schneider M, Wagner P (2005) Economic viability of precision farming with a whole farm approach (in German). In: *Verbundprojekt preagro II. Zwischenbericht 2005: 278* <http://www.preagro.de/>
- Torbert HA, Ingram JT, Prior SA (2007) Planter aid for heavy residue conservation tillage systems. *Agron J* 99:478–480
- Vamerali T, Bertocco M, Sartori L (2006) Effects of a new wide-sweep opener for no-till planter on seed zone properties and root establishment in maize (*Zea mays*, L.): a comparison with double-disc opener. *Soil Till Res* 89:196–209
- Weatherly ET, Bowers CG (1997) Automatic depth control of a seed planter based on soil drying front sensing. *Trans Am Soc Agric Eng* 40(2):295–305
- Wiesehoff M (2005) Site-specific sowing of winter wheat (in German). Doctoral dissertation, University of Hohenheim, Hohenheim. *Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max Eyth-Gesellschaft im VDI 430:62*

کود دهی مکان ویژه

Hermann J. Heege

چکیده

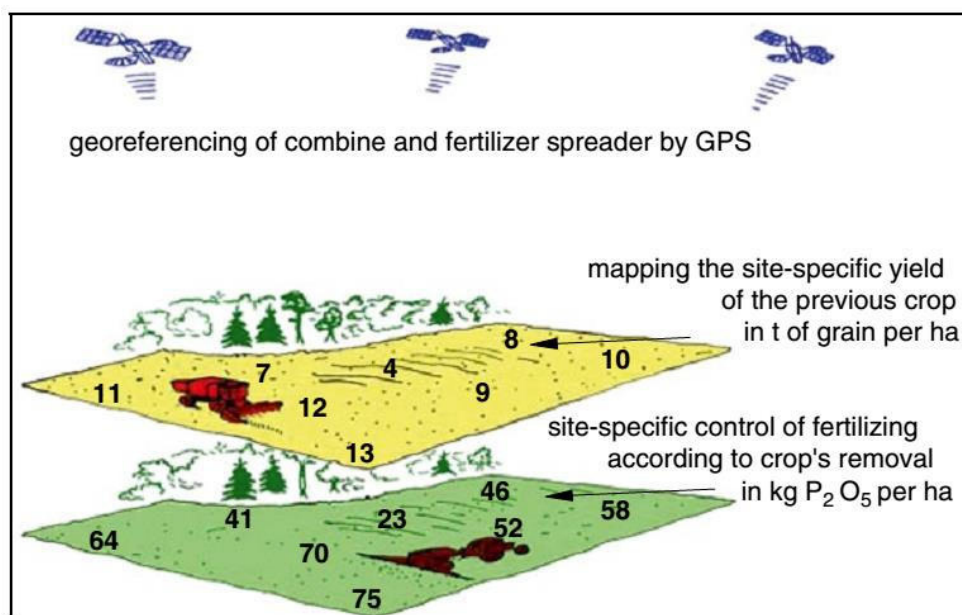
هدف از کود دادن به خاک، افزودن مواد مغذی برای افزایش راندمان تولید بدون تأثیر منفی بر محیط‌زیست است. از آنجاکه در اغلب موارد، ویژگی و شرایط خاک و محصول زراعی به‌طور ویژه متفاوت است و بایستی کود دهی به‌صورت مکان‌ویژه انجام گیرد. اصلی‌ترین مشکل انجام این کار روش سنجش و سیگنال‌های کنترل مکان‌ویژه مناسبی است که تیماردهی کود را ممکن سازد. روش‌های عملی غلبه بر این مشکلات عبارت‌اند از:

- تعیین عملکرد محصول زراعی کشت قبلی و تخمین مواد مغذی مصرف‌شده توسط آن
- تعیین مقدار مواد مغذی خاک بر اساس روش الکتروشیمیایی (الکترودهای انتخابی - یونی)
- تعیین مقدار مواد مغذی خاک یا محصولات بر اساس روش انعکاس نوری.

روش مناسب تابعی از عوامل مختلف از جمله نوع مواد مغذی، شرایط خاک، وضعیت محصول زراعی و اقلیم است. روش سنجش انعکاس نوری علاوه بر نصب روی ماشین‌آلات کشاورزی به‌صورت مجاورتی قابل‌استفاده به‌صورت سنجش از راه دور روی ماهواره نیز است (به شرطی که ابرها مانعی برای تابش آن نباشند). سنجش میزان نیتروژن (به‌صورت فصلی) به‌صورت مجاورتی و توسط ماشین‌آلات کشاورزی به‌صورت یک تکنولوژی پیشرو موردتوجه قرار گرفته است.

کود دهی مکان‌ویژه بر اساس آبشویی تابعی از یون‌های خاک است. میزان آبشویی مواد مغذی بسته به اینکه مواد مغذی به ذرات خاک چسبیده باشند یا محصور در ترکیبات غیرقابل‌حل در آب باشند، متفاوت خواهد بود.

یون نیترات و سولفات به‌سختی جذب ذرات خاک می‌شوند، در عوض این یون‌ها به‌راحتی در آب حل شده و از طریق آبشویی به سطح زیرین خاک و دور از دسترس ریشه، جابجا می‌شوند. آبشویی این یون‌ها در خاک‌های شنی بیشتر و در خاک رسی با شدت کمتری اتفاق می‌افتد. باین‌حال، بافت خاک به‌تنهایی نمی‌تواند مشکل آبشویی این یون‌ها را مرتفع کند. یکی از راه‌های مناسب برای کاهش آبشویی این عناصر، کود دهی دقیق آن‌ها در زمان داشت است که منجر به جذب عناصر غذایی توسط محصولات زراعی در حال رشد خواهد شد. اگرچه یون‌های جذب‌شده در ریشه گیاهان، خیلی شسته نمی‌شود ولی این پدیده نیز فقط تا حدودی به کاهش مشکل آبشویی کمک خواهد کرد و در طول فصل زمستان این مشکل همچنان باقی است. علی‌ای‌حال کنترل مکان‌ویژه تیمار کود ازت و گوگرد تنها مبتنی بر میزان مواد جذب‌شده توسط محصول زراعی برداشت‌شده چندان ممکن و قابل‌اتکا نیست.



شکل ۹-۱ کود دهی مکان‌ویژه مبتنی بر مواد مغذی مصرف‌شده در کشت قبلی

اعداد درج‌شده بیانگر عملکرد گندم در هکتار و میزان مصرف P_2O_5 برابر $5/8$ کیلوگرم به ازای هر تن گندم است (Swedish Institute of Agricultural Engineering 1988/89)

– رگرسیون گام‌به‌گام

جدول ۹-۲ همبستگی بازتاب نور و ویژگی‌های خاک در آزمایش طیف‌سنجی

| ضریب تبیین (R^2) در محدوده طول موج (nm) | | | |
|--|----------------|-------------------|------------------------|
| ۳۵۰-۲,۵۰۰ | ۳۵۰-۲,۵۰۰ | ۱,۳۰۰-۲,۵۰۰ | خاصیت خاک |
| Lee et al. 2009 | He et al. 2007 | Chang et al. 2001 | |
| خواص ذاتی | | | |
| - | - | ۰/۸۴ | آب |
| ۰/۸۰ | ۰/۹۲ | ۰/۶۰ | کربن آلی |
| ۰/۵۳ | ۰/۸۸ | ۰/۸۵ | ازت کل |
| ۰/۷۶ | - | ۰/۶۷ | رس |
| ۰/۷۹ | - | ۰/۸۴ | سیلت |
| ۰/۷۹ | - | ۰/۸۲ | شن |
| pH عصاره خاک | | | |
| ۰/۶۸ | ۰/۸۷ | ۰/۵۵ | pH (آب) |
| ۰/۸۰ | - | ۰/۷۵ | کلسیم (استات امونیوم) |
| ۰/۷۳ | - | ۰/۸۲ | منیزیم (استات امونیوم) |
| مواد مغذی، در دسترس گیاه (در عصاره محلول) | | | |
| ۰/۱۳ | ۰/۵۸ | ۰/۵۵ | پتاسیم (استات امونیوم) |
| - | ۰/۲۹ | ۰/۴۰ | فسفر (Mehlich, Olsen) |
| - | - | ۰/۲۵ | مس (Mehlich) |
| - | - | ۰/۷۰ | منگنز (Mehlich) |
| - | - | ۰/۴۴ | روی (Mehlich) |

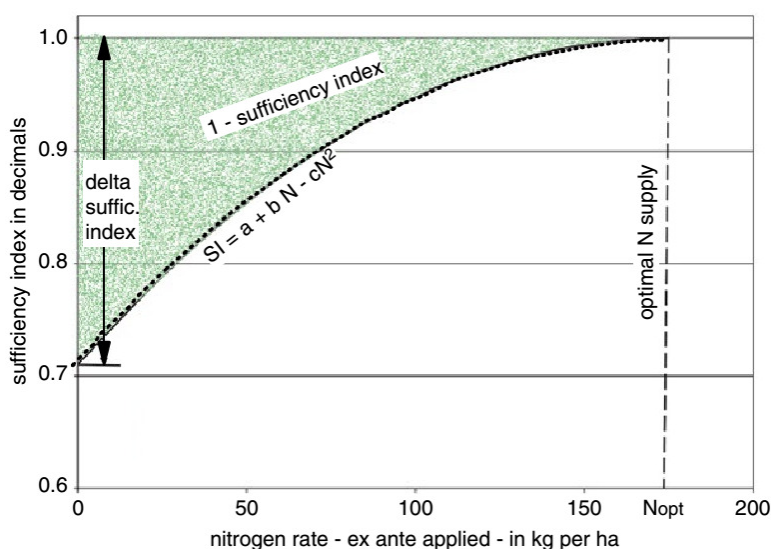
این روش‌ها قابلیت مدل‌سازی پدیده‌ها با رویکرد جعبه سیاه را در آینده نزدیک فراهم خواهند نمود. به‌کارگیری روش‌های حذف نویز و تجزیه رگرسیون، امکان استخراج دقیق طیف‌سنجی برای کشاورزی دقیق مکان‌ویژه را نیز فراهم خواهد نمود.

نکته مهم در حسگرهای نوری و رابطه رگرسیونی خاص، مکان‌ویژه بودن آن است. اگرچه مشخص نیست که چه مقدار از خواص نوری خاک وابسته به موقعیت جغرافیایی است ولی لازم است که در اولین گام، بازتاب خواص نوری خاک در مزرعه کالیبره شود. البته در خصوص میزان

(محتوای نیتروژن کشت قبلی)، به طور مستقیم با استفاده از شاخص کفایی بازتولید می‌شود و مقدار نیتروژن اعمالی (دومین پارامتر)، با مشتق‌گیری از شاخص کفایت به دست می‌آید. با استفاده از رابطه ریاضی ذیل، نرخ نیتروژن مکان‌ویژه اعمالی به دست خواهد آمد (Holland and Schepers 2010):

$$N_{appt}(kg/ha) = C \sqrt{\frac{1 - S_I}{\Delta S_I}}$$

که در آن صورت کسر، (یک منهای شاخص کفایی)، بیانگر فاصله عمودی در منطقه سبز شکل ۹-۳۸ و نشان‌گر ذخیره نیتروژن کشت قبلی است و دلتای شاخص کفایی عرض از مبدأ تابع رشد گیاه است. ثابت C نیز برای اصلاح عوامل متغیری مانند، نیتروژن ناشی از معدنی شدن ماده آلی خاک، کودهای آلی ناشی از کشت قبلی لگوم‌ها اعمال می‌شود. این ثابت برای تعیین مقدار اقتصادی به‌جای نیتروژن بهینه زراعی نیز کاربرد دارد؛ بنابراین ثابت C دربرگیرنده شرایط مزرعه و تجارب کشاورز نیز است.



شکل ۹-۳۸ شاخص کفایی (Si) یا شاخص استعمال ازت مبتنی بر رشد گیاه (Holland and Schepers 2010)

در مقایسه با روش نرخ کنترل خطی، شاخص کفایی صرفاً یک خط مستقیم نبوده و از تابع رشد گیاه تبعیت می‌کند. از آنجایی که تابع رشد گیاه واکنش محصول به نیتروژن را به صورت دقیق‌تری بیان می‌کند، لذا دقت این روش نسبت به روش خطی قبلی بیشتر است. نرخ‌های

کیلوگرم کود نیتروژن (به‌استثنای آمونیوم بدون آب) تقریباً برابر یک یورو است، صرفه‌جویی مالی ۴۴ یورویی در هر هکتار را به دنبال خواهد داشت. از این‌رو ارزش صرفه‌جویی مالی افزایش عملکرد از یک طرف و صرفه‌جویی در میزان کود دهی نیتروژن به‌سختی قابل‌تمایز است که در شکل ۹-۴۱ (خط سبز) نشان داده شده است.

نقطه سر به سر حاصل از هزینه و فایده استفاده از کود دهی مکان‌ویژه نیتروژن برابر ۱۷۵ هکتار برآورد شده است. از آنجا که یک کودپخش‌کن یا سم‌پاشی با عرض ۲۰ متر و با سرعت ۱۰ کیلومتر در ساعت، ظرفیت مزرعه‌ای برابر ۲۰ هکتار در هر ساعت را پوشش می‌دهد و به لحاظ عملی ظرفیت عملیاتی ۱۷۵ هکتار را در یک روز کاری پوشش می‌دهند. قراردادهای مقاطعه‌کاری و خدمات اجاره‌ای ماشین‌آلات قابلیت پشتیبانی و انجام خدمات ماشینی مزارع وسیع چند هزار هکتاری را در سال پشتیبانی می‌کنند. مزیت مالی کود دهی مکان‌ویژه و منافع و هزینه‌های تکنیکی در شکل ۹-۴۱ نشان داده شده است که می‌تواند ۴۰ تا ۵۰ یورو در هر هکتار سوددهی داشته باشد. یکی از دلایل پیشرو بودن توسعه کود دهی مکان‌ویژه نیتروژن از دیگر تکنیک‌های کشاورزی دقیق در مزیت اقتصادی آن است.

علاوه بر این، مزایای دیگری نیز از جمله کیفیت خوب محصول و آبشویی کمتر نیتروژن به آب‌های زیرزمینی را می‌توان بدان اضافه کرد. این مزایا باید با تغییرات قیمت به‌طور مداوم ارزیابی مجدد شوند و امید است که نتایج پژوهش‌ها به دانش بیشتر و الگوریتم کنترل بهتر به منظور بهره‌برداری کامل از امکانات زراعت‌های مختلف کمک کند.

منابع

- Adamchuk VI (2008) On-the-go mapping of soil pH using antimony electrodes. ASABE annual international meeting, Providence, June 29–July 2, 2008. Paper No. 083995
- Adamchuk VI, Lund ED, Sethuramasamyraja B, Morgan MT, Dobermann A, Marx DB (2005) Direct measurement of soil chemical properties on-the-go using ion-selective electrodes. *Comput Electron Agric* 48:272–294
- Adamchuk VI, Lund ED, Reed TM, Ferguson RB (2007) Evaluation of an on-the-go technology for soil pH mapping. *Precis Agric* 8:139–149
- Baille A (1993) Artificial light sources for crop production. In: Varlet-Grancher C et al (eds) *Crop structure and light microclimate*. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, pp 107–120
- Bausch WC, Diker K (2001) Innovative remote sensing techniques to increase nitrogen use efficiency of corn. *Commun Soil Sci Plant Anal* 32(7 and 8):1371–1390

- of Agricultural Engineering (1988/89) In: Sundell B (ed) Annual report 1988/89. Meddelande nr 427, Uppsala, 12
- Thiessen E (2001) Experiences with sensor-controlled nitrogen-application. *Landtechnik* 56:278–279 (in German)
- Thiessen E (2002) Optical sensing-techniques for site-specific application of agricultural chemicals. Doctoral thesis, Department of Agricultural Systems Engineering, University of Kiel, Kiel. VDI-MEG Forschungsbericht Agrartechnik 399 (in German)
- Thoele H, Ehlert D (2010) Biomass related nitrogen fertilization with a crop sensor. *Appl Eng Agric* 26(3):769–775
- Thoren D (2007) Laser induced chlorophyll-fluorescence for detecting the N content, the biomass and the plant density – technology, sensing in the field, effect of light conditions. Doctoral dissertation, Chair of Plant Nutrition, Technical University Munich, Munich (in German)
- Thoren D, Schmidhalter U (2009) Nitrogen status and biomass determination of oilseed rape by laser-induced chlorophyll fluorescence. *Eur J Agron* 30:238–242
- Thoren D, Thoren P, Schmidhalter U (2010) Influence of ambient light and temperature on laserinduced chlorophyll fluorescence measurements. *Eur J Agron* 32:169–175
- Thriwakala S, Weersink A, Kachanowski G (1998) Management unit size and efficiency gains from nitrogen fertilizer application. *Agric Syst* 56(4):513–531
- Tremblay N, Bouroubi YM, Belec C, Mullen RW, Kitchen NR, Thomason WE, Ebelhar S, Mengel DB, Raun WR, Francis DD, Vories ED, Ortiz-Monasterio I (2012) Corn response to nitrogen is influenced by texture and weather. *Agron J* 104(6):1658–1670
- Umweltbundesamt (2011) Data on the environment. Environment and agriculture. Bonn. www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-1/4129.pdf
- Viscarra Rossel RA, McBratney AB (2003) Modelling the kinetics of buffer reactions for rapid field predictions of lime requirements. *Geoderma* 114:49–63
- Viscarra Rossel RA, Walvoort DJJ, McBratney AB, Janik LJ, Skemstad JO (2006) Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma* 131:59–75
- Werner A, Jarfe A, Leithold P (2004) Use of modules in practice. Management system für den ortsspezifischen Pflanzenbau. Verbundprojekt pre agro. Herausgegeben vom KTBL. Abschlussbericht, Kap 2, pp 51–65 (in German)
- WHO (2006) Protecting groundwater for health. Managing the quality of drinking water sources. In: Schmoll O, Howard G, Chilton J, Chorus I (eds) World health organization. IWA Publishers, London
- Wolter R (2004) Nitrate contamination of surface- and groundwater in Germany – results of monitoring. In: Bogena H, Hake JF, Vereeken H (eds) Water and sustainable development. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe: Umwelt/Environment 48, pp 71–79
- Yang CM, Su MR (2000) Analysis of spectral characteristics of rice canopy under water deficiency. In: Proceedings of the Asian conference on remote sensing. Session agriculture and soil, Taipei, 4–8 December 2000.

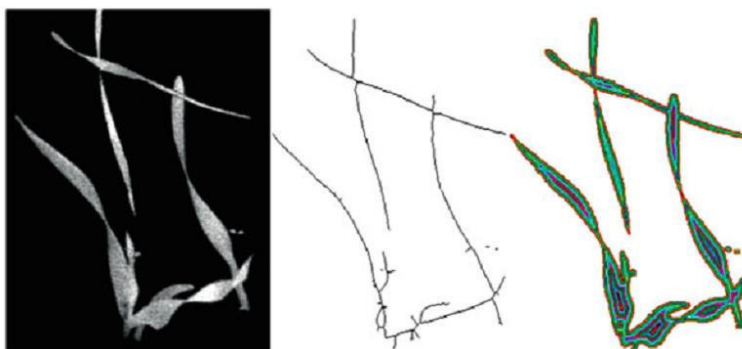
کنترل مکان ویژه علف‌های هرز

Roland Gerhards

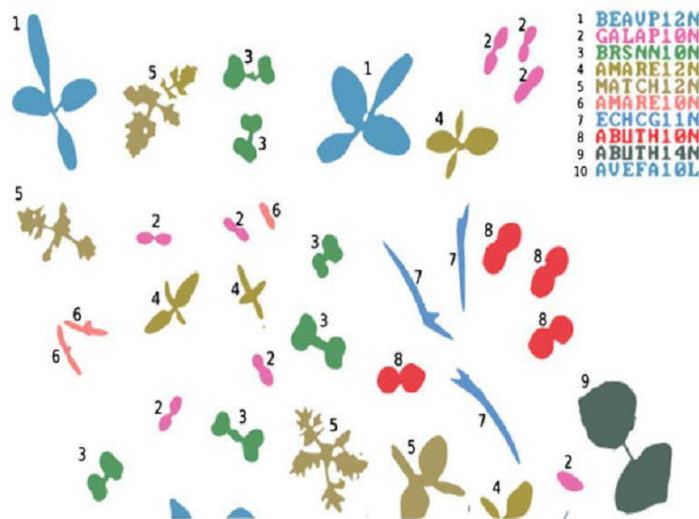
چکیده

در این فصل تغییرات مکانی و زمانی گسترش علف‌هرز در مزارع بررسی خواهد شد؛ در ادامه فصل نیز نحوه گسترش علف‌هرز با استفاده از نمونه‌گیری شبکه‌ای دستی و همچنین با استفاده از حسگر در محدوده نزدیک نیز ارزیابی کرد. با استفاده از مدیریت مکان‌ویژه علف‌های هرز صرفه‌جویی مصرف علف‌کش در گیاهان مختلف نیز محاسبه خواهد شد. برای کنترل مکان‌ویژه علف‌های هرز دو نگرش متفاوت ارائه شده است. رویکرد اول مبتنی بر تکنولوژی آفلاین بر اساس نقشه‌های ژنورفرنس شده گسترش علف‌هرز است و رویکرد دوم به‌صورت بلادرنگ است که در آن ترکیب حسگر و فناوری‌های سم‌پاش بوم‌دار استفاده می‌شود. سم‌پاش بوم‌دار بر اساس تراکم، پوشش و اثر علف‌هرز بر کاهش عملکرد عمل می‌کند. میزان صرفه‌جویی در مصرف علف‌کش در کنترل دقیق علف‌های هرز ۲۰-۷۰ درصد تخمین زده شده است. سم‌پاش بوم‌دار بلادرنگ اقتصادی‌ترین رویکرد کنترل مکان‌ویژه علف‌های هرز است. کاربرد یکنواخت علف‌کش و سم‌پاشی متداول بدون کنترل‌های دقیق، کم‌ترین بازدهی اقتصادی را به خود اختصاص دادند. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که علف‌کش‌های دقیق با در نظر گرفتن حد‌آستانه اقتصادی اثر علف‌هرز، به پایداری پراکنش علف‌هرز در طول زمان منجر می‌شود.

هر مجموعه ویژگی^۱ (شامل بیش از ۱۰۰ ویژگی) دربرگیرنده یک کلاس است. اختصاص هر ویژگی به یک کلاس توسط مجموعه تصاویر آموزشی تعیین می‌شود. برای امکان استفاده مجدد از مجموعه‌های آموزشی، تمام نمونه‌های آموزشی در یک پایگاه داده ذخیره می‌شوند. پایگاه داده شامل تصاویر بخش‌بندی شده و مجموعه ویژگی‌ها و همچنین تخصیص‌های کلاسی است. چند نمونه از تصاویر ذخیره‌شده در پایگاه داده در شکل ۱۰-۸ نشان داده شده است.



شکل ۱۰-۷ همپوشانی برگ‌ها به رنگ خاکستری، اسکلت‌بندی و مبدل فاصله (Weis and Gerhards 2007)



شکل ۱۰-۸ کلاستر بندی با استفاده از رنگ و شماره و کدهای EPP0 (Weis et al. 2008)

^۱ feature set

به‌هرحال، انواع تکنیک‌های مبارزه با علف‌هرز تا حد زیادی این امکان را فراهم می‌کند تا کولتیواتور به‌عنوان وسیله‌ای برای از بین بردن علف‌هرز، کنار گذاشته شود.

منابع

- Barroso J, Ruiz D, Fernandez-Quintanilla C, Leguizamón ES, Hernanz P, Ribeiro A, Dias B, Maxwell BD, Rew LJ (2005) Comparison of different sampling methodologies for site-specific management of *Avena sterilis*. *Weed Res* 45:165–174
- Biller RH (1998) Differentiating between plants and targeted application of herbicides (in German). *Forschungs-Report* 1:34
- Cerovic ZG, Samson G, Morales F, Tremblay N, Moya I (1999) Ultraviolet-induced fluorescence for plant monitoring: present state and prospects. *Agronomie* 1:543–578
- Christensen S, Heisel T (1998) Patch spraying using historical, manual and real-time monitoring of weeds in cereals. *J Plant Dis Prot, Special Issue XVI*:۲۵۷–263
- Colliver CT, Maxwell BD, Tyler DA, Roberts DW, Long DS (1996) Georeferencing wild oat infestations in small grains: accuracy and efficiency of three survey techniques. In: Roberts PC et al (eds) *Proceedings of the 3rd international conference on precision agriculture*, Minneapolis, pp 453–463
- Dammer KH, Böttger H, Ehlert D (2003) Sensor-controlled variable rate application of herbicides and fungicides. *Precis Agric* 4:129–134
- Gerhards R, Christensen S (2003) Real-time weed detection, decision making and patch spraying in maize, sugarbeet, winter wheat and winter barley. *Weed Res* 43:1–8
- Gerhards R, Oebel H (2006) Practical experiences with a system for site-specific weed control in arable crops using real-time image analysis and GPS-controlled patch spraying. *Weed Res* 46:185–193
- Gerhards R, Pester DY, Mortensen DA (1996) Characterizing spatial stability of weed populations using interpolated maps. *Weed Sci* 45:08–119
- Gerhards R, Sökefeld M, Schulze-Lohne K, Mortensen DA, Kühbauch W (1997) Site specific weed control in winter wheat. *J Agron Crop Sci* 178:219–225
- Gerhards R, Weis M, Gutjahr C, Schulz J, Jancker H (2012) Research on automatic weed recognition in crops via the sensor-system MiniVeg® (in German). In: *ATB-Computer Bildanalyse in der Landwirtschaft, Workshop 2011, Universität Hohenheim-Ihinger Hof*
- Gutjahr C, Sökefeld M, Gerhards R (2012) Evaluation of two patch spraying systems in winter wheat and maize. *Weed Res* 52:510–519
- Guyot G, Baret F, Jacquemoud S (1992) Imaging spectroscopy for vegetation studies. In: Toselli F, Bodechtel J (eds) *Spectroscopy: fundamentals and prospective applications*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 145–165
- Heijting S, Van Der Werf W, Stein A, Kropff MJ (2007) Are weed patches stable in locations? Application of an explicitly two-dimensional methodology. *Weed Res* 47:381–395
- Hu MK (1962) Visual pattern recognition by moment invariants. *IRE T Inf Theory* 8(2):179–187
- Isaaks EH, Srivastava RM (1989) *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press, New York, 561 p
- Jähne B (2001) *Digital image processing*, 5th edn. Springer, Berlin
- Johnson GA, Mortensen DA, Martin AR (1995) A simulation of herbicide use based on weed spatial distribution. *Weed Res* 35:197–205

- Tyystjärvi E, Koski A, Keränen M, Nevalainen O (1999) The Kautsky curve is a built-in barcode. *Biophys J* 77:1159–1167
- Tyystjärvi E, Norremark M, Mattila H, Keranen M, Hakala-Yatkin M, Ottosen C (2011) Automatic identification of crop and weed species with chlorophyll fluorescence induction curves. *Precis Agric* 12:546–563
- Vrindts E, de Baerdemaeker J (1997) Optical discrimination of crop, weed and soil for on-line weed detection. In: Stafford J (ed) *Precision agriculture 1997, 1st European Conference on Precision Agriculture, vol 2, Technology, IT and Management*. BIOS Scientific Publishers, Warwick, pp 537–544
- Walter W (1996) Temporal and spatial stability of weeds. In: Brown H (ed) *Proceedings of 2nd International Weed Congress, Copenhagen, Denmark*, pp 125–130
- Weis M, Gerhards R (2007) Feature extraction for the identification of weed species in digital images for the purpose of site-specific weed control. In: Stafford J (ed) *Precision agriculture '07, vol 6, The Netherlands. 6th European Conference on Precision Agriculture (ECPA)*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, pp 537–545
- Weis M, Sökefeld M (2010) Detection and identification of weeds. In: Oerke E-C, Gerhards R, Menz G, Sikora RA (eds) *Precision crop protection – the challenge and use of heterogeneity*. Springer, Dordrecht, pp 119–132
- Weis M, Ritter C, Gutjahr C, Rueda-Ayala V, Gerhards R, Schölderle R (2008) Precision farming for weed management techniques. *Gesunde Pflanzen* 60:171–181
- Wilson BJ, Brain P (1991) Long-term stability of distribution of *Alopecurus myosuroides* Huds. Within cereal fields. *Weed Res* 31:367–373.

سمپاشی مکان ویژه قارچ کش

Eiko Thiessen and Hermann J. Heege

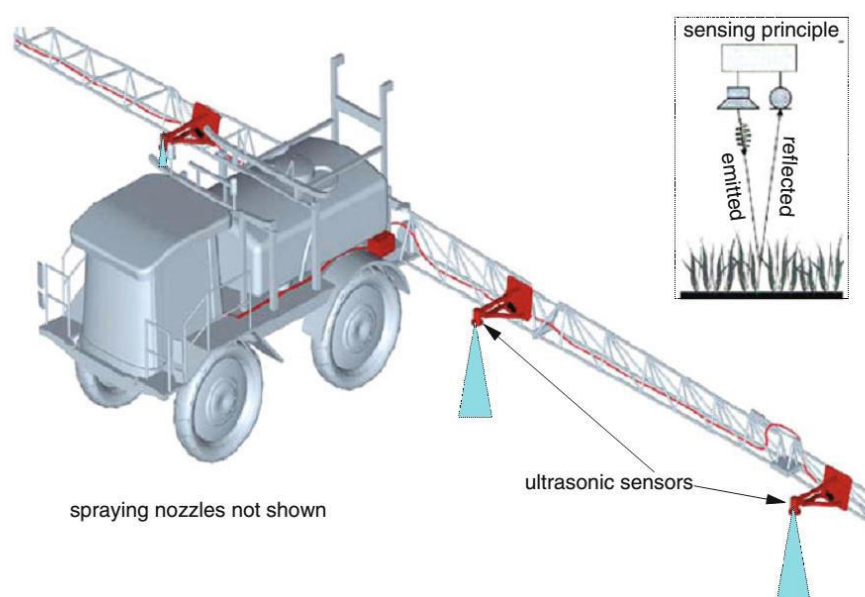
چکیده

عملکرد بالای محصول به خصوص در اقلیم معتدل و مرطوب نیازمند استفاده از قارچ کش است. کاربرد مکان ویژه قارچ کش به صورت تابعی از زیست توده گیاهان عملی شده است. با این حال، این تکنیک چندان دقیق نیست و در تشخیص نقاط کوچک و محل شروع آلودگی در مزرعه چندان دقیق نیست؛ بنابراین دست یافتن به تکنیک سنجش و تشخیص اولیه نقاط آلوده از اهمیت زیادی برخوردار است. این تکنیک صرفه جویی در مصرف قارچ کش ها، کاهش آسیب به گیاهان زراعی و محیط زیست را امکان پذیر خواهد کرد و امکان حرکت با سرعت بالا در مناطق آلوده را فراهم می کند. شاخص بازتاب نور مرئی و نزدیک فروسرخ شاخص های نور فلورسنت از جمله روش های مناسب برای تشخیص این آلودگی ها هستند.

از آنجا که کنترل عفونت های قارچی در مراحل بعدی مشکل تر است، تشخیص به موقع و اولیه (مرحله نهفتگی) برای تیمار موفقیت آمیز مهم است. در مرحله نهفتگی، بیماری ممکن است هنوز با چشم انسان قابل مشاهده نباشد. بیماری های قارچی اغلب حالت های فیزیولوژیکی گیاه را با استفاده از فتوسنتز و یا با تشکیل متابولیت های ثانویه مانند فنول تغییر می دهند. این تغییرات را می توان به روش های هوشمندانه و با استفاده از سنجش نوری شناسایی نمود. تکنیک فلورسانس شیوه ای حساس است که پتانسیل آشکارسازی تغییرات قبل از گسترش آلودگی را دارد؛ پیش تر از آنکه آلودگی به حدی گسترش یابد که توسط چشم انسان قابل رؤیت باشد.

- سنجش فراصوتی (شکل ۱-۱۱ و بخش ۹-۴-۶).

مراحل رشد عفونت‌های قارچی بسته به نوع محصول متفاوت است. عفونت‌های قارچی تقریباً در هر مرحله‌ی رشد می‌توانند غلات را تهدید کنند. روش‌های سنجش زیست‌توده که در بالا ذکر شد، توانایی متفاوتی برای تشخیص درست زیست‌توده در مراحل مختلف رشد دارند. از بین این روش‌ها، تکنیک التراسونیک در تمام مراحل رشد می‌تواند مقدار زیست‌توده را تشخیص دهد (شکل ۱-۱۱-۲).



شکل ۱-۱۱ کنترل سم‌پاش به کمک سنجنده التراسونیک زیست‌توده (Reusch 2009)

تکنیک سنجش بازتابی، به دلیل اثرات خاک بر تاج‌پوششی (کانوپی) کوچک‌تر در مراحل اولیه رشد غلات EC یا BBCH 30، کاربرد چندانی ندارد. این برهه مربوط به زمانی است که پنجه‌زنی به پایان رسیده است. شاخص‌های بازتاب در طول موج‌های محدوده لبه قرمز عملکرد مناسبی دارند و از محدودیت‌های گیاه سرسبز در مراحل نهایی رشد اجتناب می‌کنند.

سنجش شاخص سطح‌برگ یا زیست‌توده با استفاده از تکنیک مقاومت (خمشی) گیاهان در برابر خم شدن را اندازه‌گیری می‌کند، عملکرد مناسب این تکنیک نیازمند حداقل مرحله رشد در حدود EC یا BBCH 35 است (Ehlert et al. 2004). این مرحله رشد معادل زمانی است که اولین برگ پرچم - به شکل لوله شده - ظاهر می‌شود.

شاخص انتشار فلورسانس F₆₈₀/F₇₃₀ در اندازه‌های کوچک هستند. این تکنولوژی برای سنجش محتوای کلروفیل قابل استفاده است و به‌طور عمده برای سنجش نیتروژن استفاده می‌شوند. به کمک حسگرهای تجاری، تقریباً همه چیز را می‌توان اندازه‌گیری کرد. فلورسانس سنج طیفی (e.g. RF5001PC, Shimadzu, Japan) با تحریک اشعه فرابنفش را می‌توان به‌صورت آزمایشگاهی و یا در مزرعه برای پایش انتشار فلورسانس بکار گرفت. **سنجنده طیف کامل فلورسانس گیاهی** Dualux و Multiplex (Force-A, France) و یا UV-PAM (Walz, Germany) در دسترس هستند. اسکن در حال حرکت PAM (Walz, Germany) و یا سینتیک سریع با PEA نیز برای کارهای مرتبط در دسترس هستند (Hansatech, England).



شکل ۱۱-۶ ربات آزمایشگاهی در حال عملیات در مزرعه ذرت (Ruckelshausen)

۱۱-۵ تمایز بین کمبود نیتروژن و بیماری قارچی

تیمار مکان‌ویژه مواد شیمیایی در مزرعه بر اساس سنجش حسگرها مشکل خطا و ابهام در روش‌های سنجش را به دنبال دارد. کمبود نیتروژن در گیاه باعث افزایش بازتاب در محدوده مرئی می‌شود که مشابه اثر عفونت‌های قارچی است (شکل ۱۱-۳) و حتا گاهی عوامل استرس-زای غیرزیستی (به‌عنوان مثال کمبود آب) نیز رفتار مشابهی را بروز می‌دهند.

اثر متقابل **نیتروژن و قارچ** نیز از عوامل اغتشاش حسگر است. میزان زیاد نیتروژن به افزایش رشد قارچ منجر می‌شود. از این‌رو، اگر تیمار مکان‌ویژه نیتروژن منجر به افزایش نرخ

- Bürling K, Hunsche M, Noga G (2011) Use of blue-green and chlorophyll fluorescence measurements for differentiation between nitrogen deficiency and pathogen infection on winter wheat. *J Plant Physiol* 168(14):1641–1648
- Cartelat A, Cerovic ZG, Goulas Y, Meyer S, Lelarge C, Prioul JL, Barbottin A, Jeuffroy MH, Gate P, Agati G, Moya I (2005) Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Res* 91(1):35–49
- Christen D, Schönmann S, Jermini M, Strasser RJ, Défago G (2007) Characterization and early detection of grapevine (*Vitis vinifera*) stress responses to esca disease by in situ chlorophyll fluorescence and comparison with drought stress. *Environ Exp Bot* 60(3):504–514
- Devadas R, Lamb DW, Simpfendorfer S, Backhouse D (2009) Evaluating ten spectral vegetation indices for identifying rust infection in individual wheat leaves. *Precis Agric* 10:459–470
- Ehlert D, Dammer KH (2006) Widescale testing of the crop-meter for site-specific farming. *Precis Agric* 7:101–115
- Ehlert D, Dammer KH, Völker U (2004) Application according to plant mass (in German). *Landtechnik* 59(2):76–77
- Gitelson A, Buschmann C, Lichtenthaler HK (1999) The chlorophyll fluorescence ratio F735/F700 as an accurate measure of the chlorophyll content in plants. *Remote Sens Environ* 69(3):296–302
- Gitelson A, Merzlyak MN, Chivkunova OB (2001) Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. *Photochem Photobiol* 74(1):38–45
- Gorbe E, Calatayud A (2012) Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural research: review article. *Sci Hortic* 138:24–35
- Heath MC (1982) Host defense mechanisms against infection by rust fungi. In: Scott KJ, Chakravorty AK (eds) *The rust fungi*. Academic, London, pp 223–245
- Heege HJ, Reusch S (1996) Sensor for on-the-go control of site-specific nitrogen top dressing. International Meeting in Phoenix, AZ. American Society of Agriculture Engineering, St. Joseph, MI, Paper No. 961018
- Huang W, Lamb DW, Niu Z, Zhang Y, Liu L, Wang J (2007) Identification of yellow rust in wheat using in-situ spectral reflectance measurements and airborne hyperspectral imaging. *Precis Agric* 8:187–197
- Kuckenberg J, Tartachnyk I, Noga G (2009) Detection and differentiation of nitrogen-deficiency, powdery mildew and leaf rust at wheat leaf and canopy level by laser-induced chlorophyll fluorescence. *Biosyst Eng* 103(2):121–128
- Lichtenthaler HK, Schweiger J (1998) Cell wall bound ferulic acid, the major substance of the blue-green fluorescence emission of plants. *J Plant Physiol* 152:272–282
- Lüdeker W, Dahn HG, Günther KP (1996) Detection of fungal infection of plants by laser-induced fluorescence: an attempt to use remote sensing. *J Plant Physiol* 148(5):579–585

- fluorescence: a signature of photosynthesis, vol 19, *Advances in photosynthesis and respiration*. Springer, Dordrecht, pp 321–362
- Thiessen E (2002) Optical sensing techniques for site-specific application of farm chemicals (in German). Doctoral dissertation, University of Kiel, Kiel, Germany. *Forschungsbericht Agrartechnik, VDI-MEG 399*
- Vondricka J, Schulze Lammers P (2009) Real-time controlled direct injection system for precision farming. *Precis Agric* 10:421–430
- West J, Bravo C, Oberti R, Lemaire D, Moshou D, McCartney HA (2003) The potential of optical canopy measurement for targeted control of field diseases. *Annu Rev Phytopathol* 41:593–614
- Zhang L, Dickinson M (2001) Fluorescence from rust fungi: a simple and effective method to monitor the dynamics of fungal growth in planta. *Physiol Mol Plant P* 59(3):137–141.

نقشه عملکرد مکان ویژه

Markus Demmel

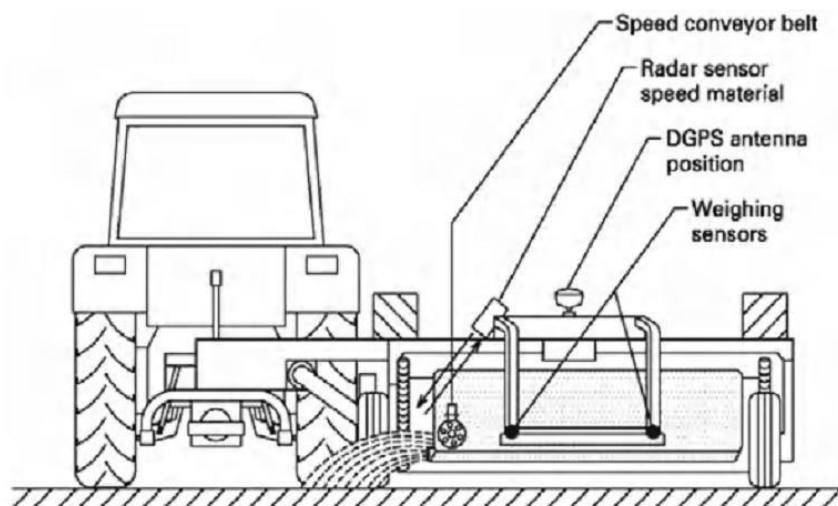
خلاصه: ثبت عملکرد مکان ویژه که عموماً به عنوان تشخیص عملکرد ژئورفرنس شده شناخته می‌شود، با پایش و ثبت اطلاعات تغییرپذیری عملکرد به توسعه و فهم کشاورزی دقیق مکان ویژه کمک می‌کند. این فرایند اثرات مدیریت مکان ویژه را به عملکرد محصول ارتباط می‌دهد و امکان محاسبه خروجی مواد مغذی را نیز به دنبال دارد.

در اوایل ۱۹۹۰ کمباین‌ها به سیستم‌های مستمر سنجش و ثبت عملکرد و سیستم موقعیت-یابی (GPS) سرآغازی بر این فرایند بود. به دنبال آن سیستم‌های اندازه‌گیری مکان ویژه عملکرد برای کمباین علوفه، پنبه‌چین یا غوزه‌چین، کمباین سیب‌زمینی، چغندرقد، بادام‌زمینی، انگور و همچنین کمباین نیشکر نیز تهیه و نصب شدند. تلاش‌هایی برای تعیین عملکرد مکان ویژه برداشت دستی برای محصولاتی مانند پرتقال، سیب و یا قهوه نیز انجام شد. آزمایش‌های متعددی برای تعیین دقت حسگر جریان مواد و سیستم‌های اندازه‌گیری عملکرد در آزمایشگاه و در مزرعه استانداردسازی شده است.

سیستم‌های ثبت عملکرد مکان ویژه در چاپر علوفه و کمباین پنبه تجاری‌سازی شده است. حسگرهای ثبت عملکرد در کشاورزی حرفه‌ای غالباً محصولات قابل برداشت توسط کمباین را سنجش و اندازه‌گیری می‌کنند. تجاری‌سازی این فرایند نیازمند تلاش مضاعف برای توسعه سنجنده‌های همه محصولات، یکپارچه‌سازی سنجش مواد تشکیل‌دهنده محصول، استاندارد کردن فرمت داده‌ها و همچنین الگوریتمی برای فیلتر، پردازش و تحلیل داده‌ها است.

تشخیص دبی جرم ساخته شده‌اند. تا سال ۲۰۱۳، هیچ‌یک از این پیشرفت‌ها تجاری‌سازی نشده‌اند (Kumhala et al. 2001, 2007; Demmel et al. 2002; Wild et al. 2004).

از سال ۱۹۹۰ نتایج پژوهش‌ها روی حسگر جریان مواد در **چاپرهای علوفه** چاپ شده است. اولین مقالات توسط وانسیشن^۱ و دی بردرمیکر^۲ (۱۹۹۳) منتشر شده است. در سال ۱۹۹۵ ارون‌هامر^۳ و همکاران نتایجی سیستم‌های اندازه‌گیری جریان مواد بر اساس سنجش فاصله بین غلتک فیدر بالا و پایین (حجمی)، مصرف انرژی تیغه برش، مصرف انرژی دمنده و یک سیستم اندازه‌گیری رادیومتری (جریان جرمی) در دهانه خروجی را منتشر کردند (شکل ۱۲-۴). بارتنت^۴ و شینرز^۵ (۱۹۹۸) پیکربندی حسگر مشابهی را در یک چاپر علوفه آزمایش کردند.



شکل ۱۲-۳ اندازه‌گیری دبی جرمی دروگر علوفه با تکنولوژی مقاله توزین (Demmel et al. 2002)

مانند سیستم اندازه‌گیری عملکرد کمباین، جریان مواد با در نظر گرفتن مساحت برداشت شده (حاصل ضرب عرض برش در طول برداشت)، عملکرد به صورت تن بر هکتار محاسبه می‌شوند. با در دست داشتن این اطلاعات ظرفیت مزرعه‌ای ماشین (هکتار بر ساعت) نیز محاسبه و نمایش

¹ Vansichen

² De Baerdemaeker

³ Auernhammer

⁴ Barnett

⁵ Shinnars

اگرچه Harvestmaster تولید سیستم اندازه‌گیری عملکرد (نقاله توزین) HM 500 را متوقف کرده است ولی تعدادی از کمباین‌های سیب‌زمینی در ایالات متحده هنوز هم برای کنترل بار کامیون‌های حمل‌ونقل و جلوگیری از جریمه اضافه‌بار از این سیستم استفاده می‌کنند. در آلمان نیز تعداد نقاله‌های بارگیری تمیزکننده چغندر قند به سیستم‌های توزین نوار نقاله در حال افزایش است تا از بارگیری بیش‌ازحد کامیون‌هایی که چغندر قند را به کارخانه می‌برند، جلوگیری شود.

تا سال ۲۰۱۳، هیچ سیستم ثبت عملکرد مکان ویژه تجاری برای محصولات ریشه‌ای در بازار به صورت انبوه عرضه نشده است. این واقعیت که محصولات ریشه اغلب در مزارع نسبتاً یکنواخت و مسطح رشد می‌کنند، ممکن است به این امر کمک کند.

جدول ۱۲-۴ دقت سیستم اندازه‌گیری عملکرد در کمباین محصولات ریشه‌ای

| منبع | انحراف معیار خطای نسبی (درصد) | خطای نسبی کالیبراسیون (درصد) | نوع کمباین و محصول | سیستم اندازه‌گیری |
|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|---|
| Godwin and Wheeler (1997) | ۴/۰ | ۱/۱ | تریلر، چغندر قند، سیب‌زمینی | Mass accumulation system Silsoe |
| Durance et al. (1998) | ۳/۱ | ۰/۲ | تریلر دو ردیفه، بادام‌زمینی | Basket weighing Tifton |
| Rawlins et al. (1995) | ۴/۹ | - | تریلر دو ردیفه با بارگیری جانبی، سیب‌زمینی | Conveyor weighing Harvestmaster |
| Hall et al. (1997) | ۲/۲ | -۱/۰ | تریلر شش ردیفه بارگیری جانبی، چغندر قند | Conveyor weighing Harvestmaster |
| Demmel and Auernhammer (1998) | ۴/۱ | -۱/۳ | تریلر بونکر تک ردیفه، سیب‌زمینی | Conveyor weighing Harvestmaster |
| Demmel et al. (1998) | ۳/۷ | ۱/۰ | کمباین شش ردیفه، چغندر قند | Conveyor weighing Harvestmaster |
| Demmel et al. (1998) | ۵/۶ | ۱/۲ | کمباین شش ردیفه، چغندر قند | Conveyor weighing Rottmeier |
| Broos et al. (1998) | ۱/۶ | ۰/۴ | کمباین و بارکن، چغندر قند | Friction compensated curved plate |
| Kromer and Degen (1998) | ۴/۰ | - | کمباین، بارکن و تمیزکن، چغندر قند | Laser optical volume Bonn |

- ASABE (2007 and 2012) American Society of Agricultural and Biological Engineers. Standards, S 578 and S 579. <http://elibrary.asabe.org/standards.asp>
- Auernhammer H, Rottmeier J (1990) Weight determination in transport vehicles – exemplary shown on selfloading trailers. In: Technical Papers and Posters Abstracts of AgEng'90, 24–26 October 1990, Berlin, pp 100–101
- Auernhammer H, Demmel M, Muhr T, Rottmeier J, Wild K (1993) Yield measurement on combine harvesters. Paper No. 931506, ASAE, St. Joseph, MI
- Auernhammer H, Demmel M, Pirro PJM (1995) Yield measurement on self propelled forage harvesters. Paper No. 951757, ASAE, St. Joseph, MI
- Auernhammer H, Demmel M, Pirro PJM (1997) Throughput and yield sensing in self-propelled forage harvesters (in German) VDI Bericht 1356:135–138
- Bae YH, Borgelt SC, Searcy SW, Schueller JK, Stout BA (1989) Mapping of spatially variable yield during grain combining. *Trans ASAE* 32(3):826–829
- Barnet NG, Shinnors KJ (1998) Analysis of systems to measure mass-flow-rate and moisture on forage harvesters. Paper No. 981118, ASAE, St. Joseph, MI
- Beck AD, Searcy SW, Roades JP (2001) Yield data filtering techniques for improved map accuracy. *Appl Eng Agric* 17(4):423–431
- Behme JA, Schinstock JL, Bashford LL, Leviticus LI (1997) Site specific yield for forages. Paper No. 971054, ASAE, St. Joseph, MI
- Benjamin CE, Price RR, Mailander MP (2001) Sugar cane monitoring system. Paper No. 011189, ASAE, St. Joseph, MI
- Blackmore S, Marshall C (1996) Yield mapping; errors and algorithms. In: Robert PC, Rust AH, Larson WE (eds) *Proceedings of the 3rd international conference on precision agriculture*, 23–26 June 1996, Minneapolis. ASA; CSSA; SSSA. Madison, pp 403–415
- Broos B, Missotten B, Reybrouck W, De Baerdemaker J (1998) Mapping and interpretation of sugar beet yield differences. In: Robert PC, Rust RH, Larson WE (eds) *Proceedings of the 4th international conference on precision agriculture*. ASA, Madison
- Campbell RH, Rawlins SL, Han S (1994) Monitoring methods for potato yield mapping. Paper No. 943184, ASAE, St. Joseph, MI
- Cerri GP, Magalhaes PG (2005) Sugarcane yield monitor. Paper No. 051154, ASAE, St. Joseph, MI
- Cox GJ, Harris HD, Cox DR (1998) Application of precision agriculture to sugar cane. In: Robert PC, Rust RH, Larson WE (eds) *Proceedings of the Fourth International Conference on Precision Agriculture*. ASA; CSSA; SSSA, St. Paul, MN
- Demmel M (2001) Yield recording in combines – yield determination for site-specific yield sensing (in German). DLG Merkblatt 303. Hrsg: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, Fachbereich Landtechnik, Ausschuss für Arbeitswirtschaft und Prozesstechnik, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, 20 p
- Demmel M, Auernhammer H (1998) Local yield recording with potatoes and sugar beets (in German) VDI-Berichte 1449:263–268
- Demmel M, Auernhammer H (1999) Local yield measurement in a potato harvester and overall yield pattern in a cereal – potato crop rotation. Paper No. 991149, ASAE, St. Joseph, MI
- Demmel M, Auernhammer H, Rottmeier J (1998) Georeferenced data collection and yield measurement on a self propelled six row sugar beet harvester. Paper No. 983103, ASAE, St. Joseph, MI

- Proceedings of the third international conference on precision agriculture, Madison, WI, pp 703–712
- Sudduth KA, Drummond ST, Myers DB (2012) Yield editor 2.0: software for automated removal of yield map errors. Paper No. 12–1338243, ASABE, St. Joseph, MI
- Sui R, Thomasson JA, Mehrle R, Dale M, Perry C, Rains G (2004) Mississippi cotton yield monitor: beta test for commercialization. *Comput Electron Agric* 42:149–160
- Taylor RK, Kastens DL, Kastens TL (2000) Creating yield maps from yield monitor data using multi-purpose grid mapping (MPGM). In: Robert PC (ed) Proceedings of the fifth international conference on precision agriculture and other precision resources management, 16–20 July 2000, Bloomington/Minneapolis
- Taylor R, Fulton J, Mullenix D, Darr M, McNaull R, Haag L, Stauggenborg S (2011) Using yield monitors to assess on-farm test plots. Paper No. 1110690, ASABE, St. Joseph, MI
- Thomasson JA, Sui R (2004) Optical peanut yield monitor. Development and testing. Paper No. 041095, ASABE, St. Joseph, MI
- Thylen L, Algerbo PA, Giebel A (2000) An expert filter removing erroneous yield data. In: Robert PC (ed) Proceedings of the fifth international conference on precision agriculture and other precision resources management, 16–20 July 2000, Bloomington/Minneapolis
- Tisseyre B, Mazzoni C, Ardoin N, Clipet C (2001) Yield and harvest quality measurement in precision viticulture – application for selective vintage. In: Grenier G, Blackmore S (eds) Third European conference on precision agriculture, Montpellier, France, pp 133–138
- Vansichen R, Baerdemaeker D (1993) A measurement technique for yield mapping of corn silage. *J Agric Eng Res* 55(1):1–10
- Vellidis G, Perry CD, Durrence JS, Thomas DL, Hill RW, Kevin CK, Hamrita TK, Rains G (2001) The peanut yield monitoring system. *Trans ASAE* 44(4):775–785
- Vellidis G, Perry CD, Rains GC, Thomas DL, Wells N, Kvien CK (2003) Simultaneous assessment of cotton yield monitors. *Appl Eng Agric* 19(3):259–272
- Walter JD, Hofmann VL, Backer LF (1996) Site-specific sugar beet yield monitoring. In: Robert PC, Rust RH, Larson WE (eds) Proceedings of the third international conference on precision agriculture, Madison, WI
- Welle R, Greten W, Rietmann B, Alley S, Sinnaeve G, Dardenne P (2003) Near-infrared spectroscopy on chopper to measure maize forage quality parameters online. *Crop Sci* 43:1407–1413
- Wild K, Ruhland S, Haedicke S (2004) A conveyor belt based system for local yield measurement in a mower conditioner. In: Proceedings of AgEng '04, Leuven, Belgium
- Wilkerson JB, Kirby JS, Hart WE, Womac AR (1994) Real-time cotton flow sensor. Paper No. 941054, ASAE, St. Joseph, MI
- Wilkerson JB, Moody FH, Hart WE, Funk PA (2001) Design and evaluation of a cotton flow rate sensor. *Trans ASABE* 44(5):1415–1420.

ترکیب، همپوشانی و نواحی مدیریتی

Hermann J. Heege

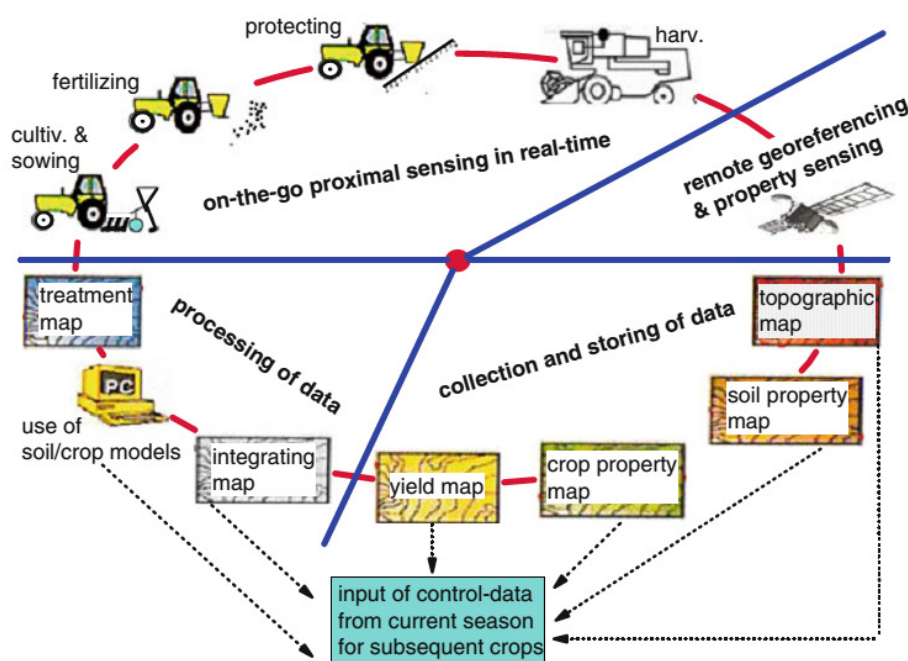
چکیده

کشاورزی مکان‌ویژه مبتنی بر داده‌های متنوع در حوزه خاک و محصول است و در برخی موارد عملیات کشاورزی با سیگنال‌های کنترلی مبتنی بر ارزیابی هم‌زمان بیش از یک متغیر قابل اجرا است. با این حال، کنترل عملیات کشاورزی نیازمند سیگنال‌های مکان‌ویژه منحصربه‌فرد، دقیق و صحیح است. در بسیاری از موارد اطلاعات ویژگی‌های خاک و محصول باید باهم ادغام شوند. ابزار دستیابی به چنین هدفی ترکیب حسگرها، همپوشانی نقشه‌ها و مناطق مدیریتی است. ترکیب حسگرها رویکرد منطقی برای سیگنال‌های مستقل از زمان است که ترجیحاً برای کنترل آنلاین و نیز کنترل تأخیری مبتنی بر نقشه استفاده می‌شود. همپوشانی نقشه‌ها و مناطق مدیریتی باید بر اساس خواصی باشند که در فاصله زمانی مربوط پایدار بمانند. همه این فناوری‌ها برای ادغام اطلاعات مکان‌ویژه به منطق محکم و دقیقی احتیاج دارند. این منطق باید در جهت دستیابی به بازده بالا و با اولویت‌های سازگار با محیط‌زیست جهت‌گیری شود.

۱-۱۳ سنجش عوامل مؤثر در رشد

اهداف غالب در کشاورزی مکان‌ویژه بالا بردن عملکرد محصول به طرق سازگار با محیط‌زیست است. بر این اساس، کنترل مکان‌ویژه فاکتورهای رشد بهینه محصول نیز باید فراهم شود، به‌عنوان مثال، تأمین آب، مواد مغذی و محافظت در برابر حمله علف‌های هرز و آفات

های زراعی به صورت در حال حرکت سنجش و پردازش شود، مسیر انتقال داده مربوطه بسیار کوتاه و مختصر خواهد شد. نقشه برداری انحصاری تنها یک متغیر زود یافت مانند رطوبت چندان معقول نیست؛ اما نقشه برداری، میانگین گیری و پردازش اطلاعات منابع مختلف و یا خواص دیریافتی مانند توپوگرافی، بافت خاک، مواد آلی خاک و مواد مغذی بدون تحرک مانند فسفر منطقی و متداول است. به هر حال، انتقال داده ها به صورت نقشه به محصولات و کشت های بعدی، به طور موقت برای خواص دیریافت مفید است (شکل ۱۳-۱).



شکل ۱۳-۱ تبادل اطلاعات و چرخه داده در کشاورزی دقیق (Stafford, 2006)

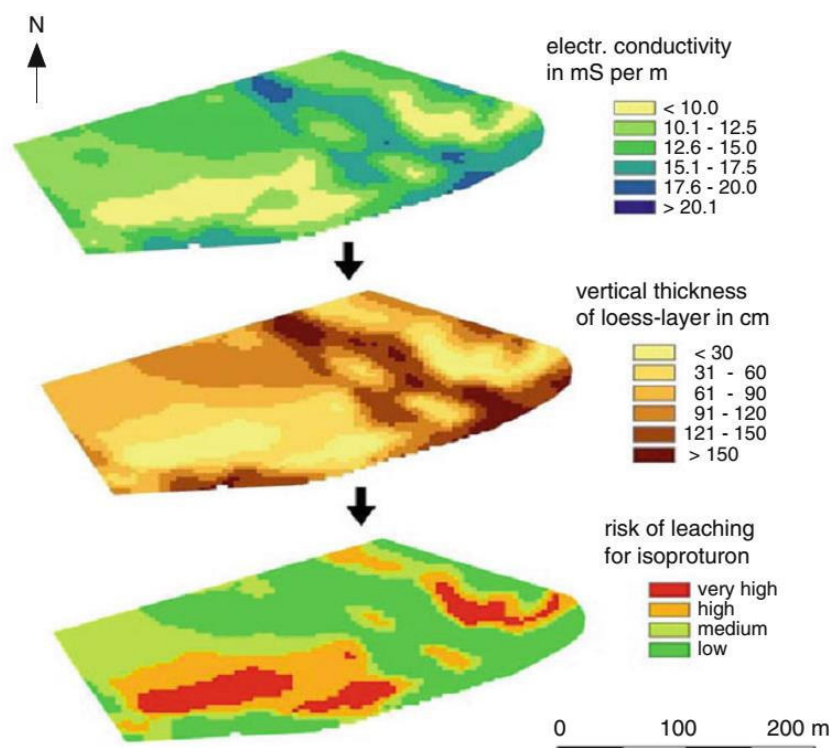
در بسیاری از موارد، سیگنال های اندازه گیری شده دقیقاً با عوامل رشد انطباق ندارد؛ ولی برای واحدهای فیزیکی تعریف شده مورد استفاده قرار می گیرند. سیگنال های اندازه گیری شده گاهی با ویژگی های خاک یا محصول نیز انطباق کامل ندارند ولی هر کدام به نوبه خود ممکن است چندین عامل رشد را رصد کنند. برای نمونه می توان به بافت خاک اشاره کرد که بر رطوبت، اکسیژن و تأمین مواد مغذی محصول مؤثر هستند. مثال دیگر خواص گیاه منفرد است که از چندین عامل رشد و نهاده کشاورزی متأثر است. شاخص سطح برگ نه تنها بر فتوسنتز گیاه تأثیر می گذارد، بلکه طی فرایند تنفس به از دست دادن انرژی نیز منجر می شود و یا بر عفونت-های قارچی گیاه نیز تأثیرگذار است. در نهایت، سیگنال هایی که به طور گسترده حس می شوند

قابل اندازه‌گیری است (Kemanian et al. 2007). شاخص بقایا نیز بر اساس شاخص برداشت به صورت ذیل قابل محاسبه است:

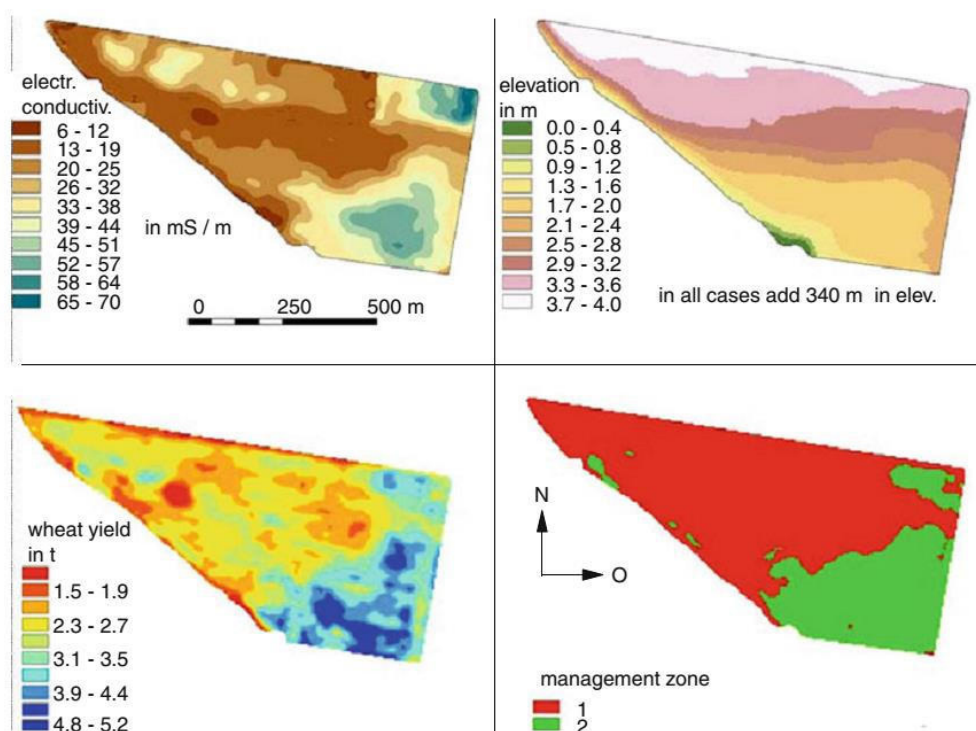
$$\frac{Y_{mog}}{Y} \approx \frac{I_R}{I_H} \approx \frac{1-I_H}{I_H}$$

که در آن Y عملکرد دانه، Y_{mog} عملکرد مواد غیردانه‌ای، I_H شاخص برداشت، I_R شاخص بقایا است.

بنابراین، اگر جرم دانه نقشه‌برداری شود و شاخص برداشت محصول مشخص باشد، به راحتی امکان استخراج نقشه بقایا با استفاده از این دو عامل وجود دارد. استفاده از نقشه بقایا برای کنترل دقیق و مکان‌ویژه، عمق خاک‌ورزی حفاظتی مورد استفاده قرار گرفته و از اتلاف انرژی جلوگیری می‌کند. با این حال، دقت نقشه بقایای محصول نیازمند تابعی از سنجش دقیق زمان دانه در کمباین است؛ از این رو، برای ایجاد نقشه دقیق وقفه‌های زمانی (تأخیر) و مکانی باید در فرایندهای ژئورفرنس نیز در نظر گرفته شوند.



شکل ۱۳-۳ همپوشانی نقشه مکان‌ویژه احتمال شستشوی علف‌کش ایزوپروترون (Mertens, 2008)



شکل ۱۳-۵ نقشه رسانایی الکتریکی، ناهماری، عملکرد محصول و نواحی مدیریتی (Taylor 2010)

منابع

- Blackmore S, Godwin RJ, Fountas S (2003) The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. *Biosyst Eng* 84(4):455-466
- Fridgen JJ, Kitchen NR, Sudduth KA, Drummond ST, Wiebold WJ, Fraisse CW (2004) Management zone analyst (MZA): software for subfield management zone delineation. *Agron J* 96:100-108
- Kemanian AR, Stöckle CO, Huggins DR, Viega LM (2007) A simple method to estimate harvest index in grain crops. *Field Crop Res* 103:208-216
- Mertens FM (2008) Spatial variability of soil properties and its significance for the performance of herbicides – an optimizing approach for precision in plant protection (in German). Doctoral dissertation, University of Bonn, Bonn
- Milne AE, Webster R, Ginsburg D, Kindred D (2012) Spatial multivariate classification of an arable field into compact management zones based on past crop yields. *Comput Electron Agric* 80:17-30
- Schepers AR, Shanahan JF, Liebig MA, Schepers JS, Johnson SH, Luchiari A Jr (2004) Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. *Agron J* 96:195-203
- Stafford JD (2006) The role of technology in the emergence and current status of precision agriculture. In: Srinivasan A (ed) *Handbook of precision agriculture. Principles and applications*. Food Products Press, New York, pp 19-56
- Sun Y, Druecker H, Hartung E, Hueging H, Cheng Q, Zeng Q, Sheng W, Lin J, Roller O, Paetzold S, Schulze Lammers P (2011) Map-based investigation of soil physical

conditions and crop yield using diverse sensor techniques. *Soil Till Res* 112:149–158

Taylor JA, McBratney AB, Whelan BM (2007) Establishing management classes for broad acre agricultural production. *Agron J* 99:1366–1376

Whelan BM, Taylor J (2010) Precision agriculture education and training modules for the grains industry. Australian Centre for Precision Agriculture, University of Sydney for the Grains Research and Development Corporation. Sydney, Australia

Whelan BM, McBratney AB, Minasny B (2002) VESPER 1.5 – Spatial prediction software for precision agriculture. In: Robert PC, Rust RH, Larson WE (eds) Proceedings of the 6th international conference on precision agriculture, Madison, WI.



Hermann J. Heege

Precision in Crop Farming

Site Specific Concepts and Sensing Methods:
Applications and Results

Translated by:

T. Mesri Gundoshmian
Mostafa Mostafaei
AbdolMajid Moinfar



ISBN : 978-622-7258-35-6



9 786227 258356

ISBN : 978-622-5874-32-9



9 786225 874329