**Grow Navigator – Nawigator wzrostu**

Istotne właściwości upraw pomidora, obecna praktyka

Ruud Kaarsemaker

Wersja poprawiona przez Arie de Gelder

Instytut Ogrodnictwa Szklarniowego Uniwersytetu w Wageningen

Styczeń 2007

Nr projektu 3241713100

© Wageningen 2007, Zakład Badań Terenowych Roślinności i Środowiska Sp. z.o.o.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Kopiowanie, powielanie, przechowywanie, dystrybucja w jakiejkolwiek formie, elektronicznej, mechanicznej, w formie fotokopii lub zdjęć lub innej, bez wcześniejszej pisemnej zgody Zakładu Badań Terenowych Roślinności i Środowiska zabronione.

Zakład Badań Terenowych Roślinności i Środowiska Sp. z. o. o. nie odpowiada za ewentualne szkody wynikające z wykorzystania informacji zawartych w niniejszej publikacji.

Nr projektu 3241713100

Instytut Ogrodnictwa Szklarniowego Uniwersytetu w Wageningen

Adres: Kruisbroekweg 5, Naaldwijk

Skrytka pocztowa 20, 2265 ZG Bleiswijk

Tel. 0174-636700

Fax 0174-636835

E-mail [glastuinbouw@wur.nl](mailto:glastuinbouw@wur.nl)

Strona internetowa: www.glastuinbouw.wur.nl

Spis treści

1 WPROWADZENIE………………………………………………………………………………………………………………5

2 OBECNA PRAKTYKA……………………………………………………………………………………………………………6

2.1 Wprowadzenie…………………………………………………………..……………………………………………………6

2.2 Przegląd cech obiektywnych……………………………………………………………………………………………6

2.3 Przegląd cech subiektywnych………………………………………………………………………………………….6

3 WŁAŚCIWOŚCI UPRAW DETERMINUJĄCE PRODUKCJĘ……………………………………………………….7

3.1 Wprowadzenie………………………………………………………………………………………………………………..7

3.2 Wytwarzanie asymilatów…………………………………………………………………………………………………7

3.3 Dystrybucja asymilatów………………………………………………………………………………………………….8

4 ZMIERZYĆ TO POZNAĆ?......................................................................................................................10

4.1 Pożądane parametry…………………………………………………………………………………………………………………..11

4.2 Stres lub suboptymalny rozwój…………………………………………………………………………………………………..11

4.3 Aktualny stan wiedzy………………………………………………………………………………………………………………….12

5 WNIOSKI I ZALECENIA.......................................................................................................................13

5.1 Wymogi i ograniczenia………………………………………………………………………………………………………………..13

5.2 Zalecenia…………………………………………………………………………………………………………………………………….13

1 Wprowadzenie

Motywacją do utworzenia projektu ‘Grow Navigator’ było spostrzeżenie plantatorów pomidorów o braku systemu obserwacji, który umożliwiłby obiektywne i odtwarzalne obserwowanie roślin i ich wzrostu we wczesnym stadium ich rozwoju, dzięki czemu możliwe byłoby przewidzenie ich dalszego wzrostu.

W obecnej praktyce upraw pomidorów, plantatorzy w każdym tygodniu obserwują samodzielnie kilka cech (rozdział 2) danych roślin. Są to zarówno łatwe do zmierzenia cechy, jak i oceny koloru i kształtu. Opierając się na kombinacji obiektywnych obserwacji i subiektywnych ocen rolnik codziennie samodzielnie reguluje uprawy. Wadą takiego systemu jest przede wszystkim fakt, że subiektywne obserwacje mogą prowadzić do różnic interpretacyjnych, co z kolei może skutkować suboptymalnym zarządzaniem uprawami.

Co więcej, nie wiadomo jaki jest dokładnie fizjologiczny związek pomiędzy obserwowanymi parametrami a czynnikami mającymi rzeczywiste znaczenie dla wydajności i zrównoważonego zarządzenia procesem uprawy. Czy obecnie obserwowane parametry są rzeczywiście najbardziej znaczące dla pożądanego rezultatu czy też wystarczyłby ograniczony zestaw parametrów?

W projekcie Grow Navigator będzie badana ekonomiczna i techniczna wykonalność systemu, który mógłby ustalać automatycznie odtwarzalne charakterystyki wzrostu sadzonek pomidorów. Będzie on dostarczać informacji i wglądu w obiektywne cechy mogące opisywać i interpretować wzrost i rozwój upraw pomidorów. Poprzez połączenie z systemem zarządzania klimatem otwiera to możliwość zwiększonego automatycznego nadzoru upraw i podstawę do lepszej tendencji upraw.

W tym projekcie zwrócono również uwagę na cechy upraw obecnie niewykorzystywane obecnie w praktyce, mogące jednak dostarczyć przydatnych informacji na temat upraw.

W ramach projektu ustalono, że Instytut Ogrodnictwa Szklarniowego Uniwersytetu w Wageningen zajmie się opisem: obecnej praktyki, wymogów i celów, skatalogowaniem aktualnego stanu wiedzy na temat parametrów wzrostu

(punkty 3.1.1 do 3.1.3 planu projektu)

2 Obecna praktyka

2.1 Wprowadzenie

Odbyły się dwa spotkania z kilkoma plantatorami w celu opisania obecnej praktyki.

Na pierwszym spotkaniu 12 grudnia 2005 roku byli obecni plantatorzy Arnold Groenewegen i Martien Duindam i badacze Hendrik Jan van Telgen i Ruud Kaarsemaker. Na drugim spotkaniu 14 lutego 2006 był także dodatkowo obecny plantator Leo van der Lans.

2.2 Przegląd cech obiektywnych

W obecnej praktyce mierzone są następujące cechy upraw.

Cotygodniowy rejestr

* długość i szerokość liścia pod kwitnącym gronem
* grubość łodygi = grubość łodygi na wysokości liścia pod kwitnącym gronem
* wzrost wysokości = przyrost wysokości w ciągu tygodnia
* ustawienie = zapis gron i liczby owoców
* wysokość kwitnienia = odległość kwitnącego grona od wierzchołka rośliny w momencie zakwitnięcia pierwszego kwiatka
* kwitnące grono = liczba gron

Z rejestru obliczane są następujące cechy

* tygodniowy przyrost liczby owoców
* tygodniowy przyrost liczby gron
* całkowita wysokość rośliny

Obok już zmierzonych cech, cechą pożądaną jest:

* powierzchnia trzech liści pod kwitnącym gronem

2.3 Przegląd cech subiektywnych

Obok obiektywnych parametrów ocenianych jest również kilka cech, przy których stosuje się subiektywną skalę:

* poziom skrętu liści u wierzchołka rośliny (3 liście)
* kolor liści wierzchołka, jasno-/ciemnozielony
* przebieg koloru w środku liścia
* poziom purpurowego zabarwienia łodygi
* pozycja młodych gron względem łodygi w stopniach
* wielkości owoców w kolejnych gronach
* włoski liścia, dobrze rosnące rośliny mają bardzo ładne włoski

3 Właściwości upraw determinujące produkcję

3.1 Wprowadzenie

Właściwości upraw mogą być opisywane na różne sposoby. Można je opisać w formie cech możliwych do zmierzenia, jak na przykład powierzchnia liścia, liczba kwiatów albo kilogramów owoców lub też wartości podlegających ocenie, na przykład wiele skrętów liści czy też mocne purpurowe zabarwienie rosnącego wierzchołka. Wartości podlegające ocenie są często ciężkie do uchwycenia w mierzalny sposób lub też zmierzenie ich jest zbyt czasochłonne i skomplikowane, więc wystarcza subiektywna ocena. W subiektywnej ocenie mogą być uwzględnione także nieprawidłowości, takie jak zapalenie liści, choroby, plagi czy objawy niedoborów.

W celu nakierunkowanego zarządzania właściwości muszą być opisywane w formie mierzalnych cech. Umożliwia to charakteryzowanie upraw i, w pewnych granicach, prowadzi do analizy wydajności produkcji i optymalizacji upraw. Za pomocą tych ilościowych danych mogą być rozwijane strategie uprawy aż do stopniowej optymalizacji upraw.

Jeśli nie wiadomo, które właściwości determinują wydajność produkcji, musi zostać zmierzony kompletny zestaw właściwości upraw w celu scharakteryzowania danej uprawy. Za pomocą analizy statystycznej można ustalić, które właściwości miały wpływ na produkcję badanych upraw.

Właściwości najwyższych warstw liści dają informacje o jakości najmłodszych gron i jakości najmłodszych nowopowstałych liści. Mierzalne właściwości dotyczące każdej warstwy liści to: rozmiar owoców, rozmiar liści (cm2), waga liści, % suchej masy liści, % suchej masy owoców, zawartość cukru w łodydze i zawartość skrobi w liściu. Większość z tych czynników można jednak mierzyć jedynie w sposób destruktywny, chyba że w najbliższym czasie pojawią się wiarygodne metody pomiaru składników.

Wiadomym jest, że dwoma najważniejszymi czynnikami wysokiej produkcji upraw pomidorów są zdolność roślin do produkcji wysokiego poziomu asymilatów i zdolność do transportowania dużej części tych asymilatów do mających znaczenie ekonomiczne organów (owoców). Z tego względu właśnie te dwa aspekty zostaną poddane głębszej analizie.

3.2 Wytwarzanie asymilatów

Wytwarzanie asymilatów jest przede wszystkich zależne od fotosyntezy netto (fotosynteza brutto –bez uwzględnienia wydatków energetycznych na oddychanie), która z kolei zależy od całkowitej liczby przechwyconych aktywnych fotosyntetycznie promieni świetlnych (tak zwane światło PAR), a tym samym bezpośrednio od powierzchni liści.

Fotosynteza netto zwiększa się początkowo liniowo wraz z intensywnością naświetlenia, aż do określonego punktu saturacji, który jest między innymi zależny od wcześniejszej historii liścia. Dalsze zwiększenie naświetlenia prowadzi od tego momentu jedynie do nieznacznego zwiększenia fotosyntezy, ponieważ ogranicza się aktywność enzymu Rubisco, jako skutek ograniczenia szybkości produkcji wiązań wysokoenergetycznych ATP i NADPH. Z reguły mierzy się to na jednym liściu, ale można odnieść wrażenie, że dla całej rośliny występują wyższe wartości saturacji.

Dla pomidorów szklarniowych określa się różne punkty saturacji światła (Papadopoulos, 1997), wahające się w granicach 450-1000 µmol/m2/s (około 25000-56000 luksów światła słonecznego). Nederhoff nie wykrył saturacji przy PPFD na poziomie poniżej 700 µmol/m2/s, a Gijzen twierdzi, że dla zamkniętej warstwy liści punkt saturacyjny nie został jeszcze osiągnięty na poziomie 2000µmol/m2/s. Może to znaczyć mniej więcej tyle, że przede wszystkim ilość światła przechwyconego i całkowita powierzchnia liści w roślinie mają znaczenie przy fotosyntezie.

Właściwości upraw determinujące całkowitą powierzchnię liści to wielkość liści (powierzchnia każdego liścia), liczba łodyg i liczba liści przypadająca na łodygę. Ilość światła przechwyconego jest zależna od wielkości liści w warstwie liści i całkowitej powierzchni liści. Z ilości światła przechwyconego można obliczyć potencjalną asymilację.

Jeśli powierzchnia liści wzrasta do około 1m2/m2 następuje znaczny wzrost ilości światła przechwyconego i występuje wyraźny związek pomiędzy indeksem liściowym LAI a ilością przechwyconego światła. Przyrost ilości światła przechwyconego przy wzrastającym LAI staje się coraz mniejszy (Tabela 1) i zostaje zakłócony przez na przykład właściwości danego gatunku i wielkość liści. Zmierzona ilość przechwyconego światła staje się też coraz mniej przydatna do oszacowania LAI. W przypadku pomidorów zmierzono, że najwyższa warstwa liści (=około 23% całkowitej powierzchni liści) przechwytuje z atmosfery ilość około 66% netto CO2, a pozostałe 35% jest przechwytywane przez niższe warstwy liści (Papadopoulos, 1997). Widać to także w stosunkowo niskim przyroście całkowitej ilości przechwyconego światła przy wzrastającym LAI (Tabela 1).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tabela 1:** Globalne oszacowanie ilości przechwyconego światła dla warstwy liści | | |
| **LAI (m2/m2)** | **Odsetek ilości przechwyconego światła dla warstwy liści** | **Całkowita ilość przechwyconego światła** |
| 0-1 | 60% | 60% |
| 1-2 | 20% | 80% |
| 2-3 | 8% | 88% |
| 3-4 | 4% | 92% |

Zaobserwowane różnice w wydajności fotosyntezy pomiędzy najwyższymi i najniższymi warstwami liści są także skutkiem różnic w dostępie do światła i w wieku liści.

Przenikanie światła w roślinie jest poza budową rośliny zależne także od stosunku między ilością światła rozproszonego i bezpośredniego. W ten sposób dokładny pomiar związku pomiędzy powierzchnią liści a ilością światła nie jest całkowicie możliwy, ponieważ warunki stale się zmieniają.

Znalezienie dobrej metody pomiaru ilości liści na poszczególnych wysokościach rośliny lub zmierzenia albo obliczenia ilości przechwyconego światła jest istotne dla określenia wydajności produkcji asymilatów.

Ogólnie rośliny wykazują właściwości do dostosowywania się do panujących warunków klimatycznych, takich jak temperatura czy ilości dostępnego CO2 i światła. Przykładami takich przystosowań są ułożenie liści (bardziej horyzontalne przy niskim świetle), wielkość i grubość liści i nawet dopasowania aparatów szparkowych (zamknięcie, otwarcie). Ayari (2000) zmierzył, że zimowe uprawy pomidorów przy sztucznym świetle utrzymują stały poziom fotosyntezy. Choć od lutego przy wzroście intensywności światła zaobserwowano wzrost poziomu fotosyntezy, to od marca do maja przy wciąż rosnącej intensywności światła można dostrzec z kolei spadek poziomu fotosyntezy. Prawdopodobnie jest to skutkiem długoterminowego przystosowania do wysokiego poziomu CO2 i wyższego natężenia światła. Możliwym skutkiem jest zmniejszone zapotrzebowanie na asymilaty przy zbyt niskim poziomie rozwoju rośliny w tym okresie. Przejawia się to we wspomnianym eksperymencie jako popołudniowy spadek i wieczorny wzrost. Przy pomiarach PRI nigdy wcześniej czegoś takiego nie zaobserwowano w holenderskich warunkach szklarniowych, być może ze względu na niższą intensywność światła na naszej szerokości geograficznej. Pokazuje to, że przystosowania roślin być może również powinny być brane pod uwagę przy pomiarach wielkości liści, fotosyntezy, syntezy chlorofilu na poszczególnych liściach czy roślinach, ale ostateczne konsekwencje tych przystosowań dla fotosyntezy netto upraw są trudne do ustalenia. Duża ilość małych liści być może jest w stanie przechwycić tyle samo lub nawet więcej światła niż niewiele dużych liści przy niższym poziomie oddychania i wyższej produkcji asymilatów netto.

Chwilowo wydaje się więc lepszym rozwiązaniem skoncentrowanie się na monitorowaniu maksymalnej ilości światła przechwyconego przez uprawy.

3.3 Dystrybucja asymilatów

Asymilaty wyprodukowane w liściu zostają rozdzielone pomiędzy liść, łodygę, owoce i korzenie. Hori i Shiseido (1977) badali (naturalny dzień 8/16h, 24/17⁰C) różnice w szybkości transportu w ciągu całego dnia. Szybkość eksportu była wyraźnie wyższa popołudniu niż wczesnym rankiem. Transport odbywał się także nocą. Stosunek transportu w fazie jasnej i ciemnej wynosił 3:4. Wzorzec transportu okazał się być także determinowany przez nocną temperaturę – im niższa temperatura nocą, tym większy transport do niższych części rośliny, takich jak korzenie, i na odwrót. Wnioski były takie same także w przypadku młodych kwitnących roślin. Z kolei Heuvelink (1995) nie był w stanie ustalić żadnego wpływu temperatury na transport biomasy w pomidorze i doszedł do wniosku, że wykazany wpływ temperatury na transport suchej masy jest przede wszystkim skutkiem pośredniego wpływu temperatury przez szybkość rozwoju i usuwanie kwiatów lub owoców.

Pomiędzy wytwarzaniem a dystrybucją produktów fotosyntezy roślina może czasowo magazynować energię w postaci skrobi. Zawartość skrobi w roślinie jest wskaźnikiem niecałkowitego przetworzenia asymilatów w roślinie. Choć w przeszłości twierdzono, że akumulacja asymilatów w postaci cukru i skrobi w liściu jest bezpośrednio odpowiedzialna za redukcję fotosyntezy netto (tak zwane hamowanie zwrotne ujemne), to nigdy nie udało się tego bezpośrednio udowodnić (Ludewig 1998, Heuvelink i Buiskool, 1995). Hamowanie fotosyntezy wydaje się być raczej skutkiem zbyt wolnego tempa syntezy produktów końcowych. Dowiedziono tego poprzez pomiary pomidora po wymuszonej akumulacji asymilatów w liściu poprzez zwężenie łodygi, gdy nie zaobserwowano prawie żadnej zmiany maksymalnego tempa fotosyntezy, zaobserwowano za to spadek wymiany CO2 (Goldschmidt & Huber, 1992), za co odpowiedzialne są przede wszystkim aparaty szparkowe. Wyjaśniałoby to także, dlaczego w obszarze śródziemnomorskim w okresie wiosenno-letnim natryski poprawiają wydajność upraw (Romera-Aranda, 2002). Monitorowanie poziomu wymiany CO2 lub wydajności fotosyntezy może tutaj dostarczyć wskazówek.

4 Zmierzyć to poznać?

Ehret (2000) wylicza sposoby pomiaru roślin. Wymienia przykłady pomiarów, w czasie których nie dochodzi do kontaktu z rośliną.

Analiza obrazu

* przy sadzonkach brokuła oprócz wielkości można zmierzyć także zawartość chlorofilu
* dla pomiaru wzrostu rzodkiewki i sałaty
* wzrost pomidora w komorze klimatycznej może zostać zmierzony, a następnie opisany za pomocą porównań
* ustalenie wczesnych stadiów suchej wierzchołkowej zgnilizny owoców pomidora

Spektroradiometria

* analiza przy użyciu podczerwieni na obecność azotu w wilczomleczu nadobnym

Analiza barwy

* niedobory azotu, żelaza i cynku w sałacie
* zawartość wody w chryzantemie

Obraz termowizyjny

* różnice temperatur u wilczomlecza nadobnego
* pomiar w podczerwieni temperatury liścia

Jako ograniczenia tych systemów wymienia:

* analiza obrazu jest za droga i dobrze może być stosowana jedynie przez ekspertów
* warunki, w których dokonuje się pomiarów dla światła nie są stałe, dlatego techniki odbicia nie są użyteczne
* brakuje kontroli jakości funkcjonowania urządzeń

Jako przyrządy do pomiaru równowagi wodnej Ehret wymienia lizymetr i miernik przepływu soku roślinnego.

Wzrost i zużycie wody przez rośliny może być mierzone poprzez ciągłe upraw i system upraw przy pomocy przetwornika siły. Metoda ta została zastosowana przez PPO w badaniu (De Graaf, 2004) i zostaje także użyta w projekcie Hydrion. Helmer (Helmer et al., 2005) opisuje użycie „load cells” i oprogramowania intensywnego przetwarzania danych, przez co zmierzono 11 różnych parametrów, wśród których przyrost masy(=wzrost) rośliny netto może być mierzony przez 24 godziny na dobę i przez cały ten okres. Metoda ta pozwala na pomiar wzrostu całej rośliny, jednak nie może powiedzieć nic o jej poszczególnych częściach.

Wzrost owoców można śledzić za pomocą suwmiarki i LVDT (Linear Variable Differential Transformer). Obie metody działają poprzez kontakt z owocem. Istnieją jednak dwa problemy. Poprzez ciągłe pomiary może dojść do uszkodzenia owoców, a pomiary jest ciężko zautomatyzować. Fizjologicznie średnica owocu może być związana z temperaturą, wilgotnością powietrza, dostępem do wody i konduktancją pożywienia.

Pośredni pomiar wzrostu może mieć miejsce poprzez rejestrowanie pochłaniania CO2 przez roślinę, lecz taką metodę można stosować jedynie w zamkniętych pomieszczeniach.

Niezależnie od celu, każda z metod dostarcza unikalnych informacji, lecz ma także określone ograniczenia, głównie w szklarni produkcyjnej. Właśnie tam ważnym jest, aby systemy pomiarów miały minimalny wpływ na wzrost i aby pomiary pozostawały wykonywalne pod wszystkim względami.

Wiele z metod mierzy jedynie małą część rośliny lub organu, dlatego też potrzebna jest duża ilość sensorów, aby dokonać wiarygodnego i reprezentatywnego pomiaru rośliny. Pomiary fotosyntezy lub otwierania się aparatów szparkowych dostarczają dosyć dokładnych danych w kontekście każdego miejscowego pomiaru, jednak pomiary trudno jest przełożyć na oszacowanie całkowitej fotosyntezy na całej powierzchni liści lub na parowanie rośliny. Jest to możliwe jedynie po dokonaniu w szklarni wielu pomiarów.

To, co łączy wszystkie wyżej wymienione metody to fakt, że pokazują one stan rośliny w momencie pomiaru lub 24 godziny po nim. Dlatego pokazują one zintegrowany rezultat końcowy poprzedniej uprawy. Jedynie kiedy odstępy pomiędzy pomiarami są małe, można opisać dynamikę procesu wzrostu.

Ponadto metoda badania zawsze jest stosowana poprzez porównanie z większą liczbą zabiegów, także efekt pomiaru może zawsze ukazywać różnicę. Przy wykorzystaniu sytuacji panującej w szklarni należy podać wartość, która może być zestawiana z inną odpowiadającą jej wartością, tak aby można było dostrzec ewentualne nieprawidłowości. Podobnie jak analiza wartości substancji odżywczych, itp..

Znane obecnie obiektywne pomiary roślin pokazują stan rośliny w momencie pomiaru i pozwalają w istocie zobaczyć (zintegrowany) rezultat końcowy wcześniejszych działań. Roślina ma już większość stadiów rozwoju za sobą i stosunkowo niewiele można zrobić, aby osiągnąć inny efekt lub dokonać korekty, na przykład w razie nieprawidłowego układu roślin. Od tego momentu najważniejszym zadaniem jest utrzymanie optymalnych warunków, aby status quo pozostał zachowany i aby cykl rozwoju został z sukcesem zakończony.

Dla zarządzania uprawami ważnym jest także, aby wiedzieć jaki będzie spodziewany rozwój rośliny. Nie można tego stwierdzić na podstawie pomiaru, lecz prognozować poprzez wyliczenia na podstawie stanu rośliny i spodziewanych warunków. Pewien stopień niepewności jest pożądany, aby wiedzieć, jak wiarygodne są nasze założenia.

4.1 Pożądane parametry

Plantatorzy są głównie zainteresowani monitorem rośliny, który jest oparty o obowiązujące praktyki i który pokazuje związek cech determinujących produkcję, a wymienionych w rozdziale 3. Ze względu na kompleksowość sprawy, priorytetem są przede wszystkim właściwości upraw określone w rozdziale 2, obecna praktyka. Właściwości upraw wymienione w rozdziale 3 mogą zostać uwzględnione, o ile nie wiąże się z nimi wiele dodatkowych zabiegów.

Szczególnie pożądany przez plantatorów jest automatyczny system pomiarów, w którym na podstawie obiektywnych pomiarów zewnętrznych cech wierzchołka rośliny można określić jak grona i liście będą się rozwijać, tak, aby uprawy we wczesnym okresie mogły zostać pokierowane w pożądanym kierunku. Głównie wielkość liścia, wzrost łodygi, rozwój gron muszą zostać zmierzone, aby uprawom można było nadać pożądany kierunek.

Cechy upraw wymienione przez plantatorów lub użyte w badaniu

* długość i szerokość liścia pod kwitnącym gronem
* powierzchnia trzech liści pod kwitnącym gronem
* grubość łodygi = grubość łodygi w stosunku do wysokości położenia liścia pod kwitnącym gronem
* wzrost wysokości = przyrost wysokości w ciągu tygodnia
* ustawienie= zapis gron i liczby owoców
* wysokość kwitnienia = odległość kwitnącego grona od wierzchołka rośliny w momencie zakwitnięcia pierwszego kwiatka
* wielkości owoców w kolejnych gronach
* kwitnące grono = liczba gron
* poziom skrętu liści u wierzchołka rośliny (3 liście)
* kolor liści wierzchołka, jasno-/ciemnozielony
* przebieg koloru w środku liścia
* poziom purpurowego zabarwienia łodygi
* pozycja młodych gron względem łodygi w stopniach
* włoski liścia
* zawartości skrobi
* grubość liścia
* poziom chlorofilu
* zawartość suchej masy

Rejestry można przekształcić w obliczone cechy

* przyrost liczby owoców na tydzień
* przyrost liczby gron na tydzień
* całkowita wysokość rośliny

4.2 Stres lub suboptymalny rozwój

W Grow Navigator możliwe jest zadanie pytania, jaką konkretnie nieprawidłowością zainteresowany jest plantator.

Jeżeli roślina doświadczyła przez krótki okres stresu, np. brak wody, za wysoka temperatura, brak substancji odżywczych, za niskie pH itd., to będzie to już zwykle widoczne w innych rejestrach. W tym celu używa się obecnych technik rejestru.

Jeżeli plantatorowi zależy głównie na informacji dotyczącej niewielkiej nieprawidłowości we wzroście wywołanej przez długotrwałą nieoptymalną sytuację, która nie może zostać zmierzona jako stres musi to wynikać z nieprawidłowości w rozwoju względem maksymalnej możliwej do osiągnięcia wartości.

Właśnie w takim momencie Grow Navigator może dowieść swej wartości.

4.3 Aktualny stan wiedzy

Badanie istniejącej literatury powstałej w ostatnich pięciu latach dotyczącej cech skrętu, koloru liścia, fioletowego zabarwienia jako wskaźników wzrostu zdrowych roślin nie przyniosło skutków. Może to oznaczać, że nie cieszy się to uwagą badaczy lub, że pożądane związki są trudne lub nie do udowodnienia.

To co przyciągnęło jednak uwagę badaczy to występowanie wyżej wymienionych zjawisk, takich jak: skręt, kolor liścia i fioletowe zabarwienie w relacji z chorobami.

Przeszukiwanie literatury od roku 2000 pod względem kombinacji słów kluczowych jak pomidor, wzrost, monitorowanie, przyniosło tylko klika przydatnych publikacji. Dwie z nich (Ehret 2000 i Helmer 2005) zostały wymienione już wcześniej. Font (2005) skupił się bardziej na pomiarze stresu rośliny związanego z wodą za pomocą analizy obrazu patrząc na stan liści. Shono (2003) zajął się opisem systemu, aby przeanalizować wzrost liści i opisać to opierając się o analizę obrazu, technologię sieci neuronowych, obraz 3D i indeksy parametrów wzrostu. Jego polem zainteresowania był najpierw niedobór wody, a później przejście liści w stan uśpienia.

Inne metody badań nie dostarczają odniesień do publikacji o mierzeniu parametrów wzrostu pomidorów szklarniowych za pomocą metod niedestrukcyjnych, mających znaczenie dla projektu Grow Navigator.

Tchamitchian (2006) opisuje rozwiązanie wspierające system optymalizacji temperatury dobowej dla upraw pomidora we Francji: SERRISTE. Korzysta z ogólnych współczynników wigoru i zdrowia opisujących kondycję rośliny w połączeniu z bazą praktycznych reguł dostosowanych do różnych warunków zewnętrznych w celu obliczenia najlepszej temperatury.

Wiele wiadomo na temat wielkości liści i przechwytywania światła. Optymalny podział liścia dla zapewnienia maksymalnej produkcji stanowi temat do dyskusji pomiędzy plantatorami a badaczami.

Niewiele wiadomo na temat relacjach pomiędzy wierzchołkiem, wielkością liści we wczesnym stadium a późniejszym rozwojem (Heuvelink).

Wykonano wiele badań na temat szybkości rozwoju wyrażonej poprzez ocenienie podziału liści i budowy grona w ciągu tygodnia. Czas rozwoju owocu również został dokładnie przestudiowany. Te elementy są przede wszystkim związane z temperaturą.

Mniej wiadomo natomiast o korelacji pomiędzy początkową a końcową wielkością owocu. Wiadomo natomiast, że relacja ta jest silnie związana z całkowitym zapotrzebowaniem rośliny na asymilaty i z liczbą nasion w owocu.

O zawartości suchej masy wiadomo, że jest ona istotna dla jakości przechowywania i smaku owocu. Mniej wiadomo na temat relacji pomiędzy zawartością suchej masy w liściu, a wzrostem. Wiadomo, że zawartość suchej masy wzrasta, gdy roślina magazynuje nadmiar asymilatów w formie skrobi w liściu.

Grubość liści i zawartość chlorofilu to cechy istotne dla zdolności przechwytywania i absorbowania światła przez roślinę. W ten sposób wpływają one pośrednio na maksymalną wydajność fotosyntezy, a tym samym na wzrost.

We wprowadzeniu (paragraf 1) podkreślono, że do porównania dochodzi pomiędzy większą liczbą zabiegów, tak aby rezultat mógł pokazać różnicę. W zastosowaniu w warunkach szklarniowych należy dokonać porównania z odpowiednim punktem odniesienia, tak, aby móc dostrzec nieprawidłowości.

Na tym etapie nie wiadomo jeszcze, czy będzie konieczne wydedukowanie tego z rejestrów prowadzonych przez plantatorów.

Podczas badań poświęcono sporo uwagi pomiarom fotosyntezy. Fluorescencja chlorofilu to technika umożliwiająca badanie, podczas którego mierzy się o ile zahamowany został maksymalny poziom fotosyntezy. Technika ta jest rozwijana w innych projektach w celu dalszego zastosowania w praktyce i może w niedługim czasie wnieść wiele do projektu Grow Navigator.

5 Wnioski i zalecenia

Zaleta jaka powinna wynikać z całego systemu to możliwość dojścia do interesujących wniosków na podstawie uzyskanych pomiarów, czy też możliwość utworzenia związku między zmierzonymi wartościami, a sformułowanymi „celami”.

W utworzeniu związku pomiędzy obserwowanymi cechami upraw w danymi momencie, a szansą osiągnięcia konkretnego celu produkcji, ważnym jest, aby wiedzieć jakie krzywe wzrostu i rozwoju posiada dana roślina i jaki jest obraz, który temu odpowiada. Wymagana jest więc wiedza na temat przebiegu rozwoju i wzrostu rośliny w przypadku optymalnym i jak bardzo zgadza się lub różni się z tym zmierzony obraz.

Pomidor dostarcza ogromną wiedzę na temat bardzo ważnych procesów. Wiedza, jaką dostarcza zbieranie liści i zmiana temperatury w szklarni wykazuje, że maksymalna produkcja owoców wiąże się z liczbą liści możliwych do zebrania na danej łodydze. Jako że więcej liści zostaje na łodydze, wzrasta także wydajność liścia, a także maksymalne wytwarzanie owoców. Optymalna wartość LAI, w czasie której roślina może wytworzyć maksymalną ilość owoców, staje się wyższa. W celu oceny optymalnej wartości LAI należy dokonać scharakteryzowania całej rośliny.

Grow Navigator dla pomidora wymaga więc, oprócz rozwoju urządzeń pomiarowych, także metodologii, aby wyciągnąć właściwe wnioski dotyczące związku pomiędzy mierzonymi wartościami a założonymi celami.

5.1 Wymogi i ograniczenia

W celu wypracowania projektu Grow Navigator należy spełnić pewne podstawowe warunki:

- Musi istnieć reprezentatywna próbka roślina, która może być poddana pomiarom. Dotyczy to zarówno powtórzonego pomiaru tej samej rośliny, liścia, owoca lub kwiatu, jak i występująca w tym samym czasie próbka kontrolna.

- Pomiary nie mogą zakłócać wzrostu.

- Dane dotyczące upraw muszą być mierzone z taką częstotliwością, aby dynamika rozwoju mogła być opisana w relacji z klimatem panującym w szklarni

- Należy dokonać rozróżnienia pomiędzy wiekiem fizjologicznym organu, a wiekiem w czasie zwykłym. Wiek fizjologiczny jest nie tylko zależny od przeznaczonego czasu, ale także od warunków w jakich rozwój ma miejsce.

- Opis cech upraw musi być kwantyfikowalny i zawierać pojęcia zrozumiałe dla plantatorów.

- Zmierzone cechy muszą bezbłędnie opisywać stan upraw i przedstawiać związek z oczekiwanym rozwojem.

- Pożądany stan upraw i rozwój należy opisać precyzyjnie .

- Grow Navigator winien zasygnalizować kiedy wzrost i rozwój są suboptymalne.

5.2 Zalecenia

Dla projektu Grow Navigator istotna jest automatyzacja obserwacji rozwoju wierzchołka rośliny i w dalszej kolejności rozwoju liścia i owocu z wykorzystaniem nowoczesnej techniki pomiaru. Sposób, w jaki rozwój jest kwantyfikowany musi być zrozumiały dla plantatorów.

Połączenie tych informacji z rozszerzonymi zestawami rejestrów klimatu i produkcji w gospodarstwach prowadzącymi do statystycznej analizy musi dawać wgląd w relacje pomiędzy cechami upraw a panującymi warunkami. Wiedza ta może być wykorzystywana do nakierowanego zarządzania uprawami.

**Literatura:**

Ayari, O., M. Dorais & A. Gosselin (2000): J. Amer. Soc. Hort. Sci. 125(2): 235-241.

Ehret David L, Anthony Laub, Shabtai Bittmana, Wei Lina and Tim Shelfordb (2001): Agronomie 21: 403-414

Font,L; Korosi,F; Farkas,I(2005) Acta-Horticulturae.691(Vol 2): 781-788

Goldschmidt E.E. & S. Huber (1992): Plant Physiology 99: 1443-1448.

Graaf, R de; Gelder, A de; Blok, C (2004): Acta-Horticulturae (664): 163-167

Helmer Tom, David L. Ehret, and Shabtai Bittman (2005): Computers and Electronics in Agriculture 48: 198–215

Heuvelink, E. (1995): Physiologia Plantarum 94(3): 447 - 452.

Heuvelink, E. en R.P.M. Buiskool (1995): Annals of Botany 75: 381--389.

Hori Y. & Y. Shisido (1977): Tohoku J. Agr. Res. 28(1): 26-40.

Ludewig, F., U. Sonnewald, F. Kauder, D. Heineke, M. Geiger, M. Stitt, B.T. Müller-Röber, B. Gillissen, C. Kühn & W.B.

Frommer (1998): FEBS Letters 429: 147-151.

Papadopoulos A.P. & S. Pararajasingham (1997): Review. Scientia Horticulturae 69: 1-29.

Paul E.M.M. (1984a): Euphytica 33: 347-354.

Paul E.M.M. (1984b): Euphytica 33: 347-354.

Romera-Aranda R., T. Soria & J. Cuartero (2002): J. Amer. Soc. Hort. Sci. 127(4): 644-648.

Shono,-H: Agricultural-Information-Research. 2003; 12(3): 201-211

Tchamitchian, M; Martin Clouaire, R; Lagier, J; Jeannequin, B; Mercier,S; 2006: Computers and Electronics in Agriculture. 50(1): 25-47