

fazach rozwojowych i wysokości plonów określonego gatunku rośliny uprawnej. Metodami statystycznymi dane te rozdziela się na populację niskich i wysokich plonów, a norma DRIS stanowi szczególny wzorzec, jakim są stosunki pierwiastków w roślinach dla populacji wysokich plonów. Norma DRIS i wariancje dla populacji wysokich plonów stanowią podstawę obliczeń indeksów DRIS i wszechstronnej interpretacji diagnostycznej, szczególnie przydatnej w nowoczesnych zaleceniach nawozowych. Badania nad DRIS obejmują wiele gatunków roślin uprawnych, co daje podstawę do wykorzystania tej metody diagnostycznej w praktyce [Sumner, Beaufils 1975; Sumner 1980, 1981; Grove, Sumner 1982; Sumner i in. 1983; Letsch, Sumner 1984; Elwali i in. 1985; Sumner 1986; Sumner, Farina 1986; Walworth i in. 1986a, 1986b; Walworth, Sumner 1987; Parnet, Granger 1989; Wortmann 1992; Wortmann i in. 1992; Beverly 1993; Arranz i in. 1996; Calouro i in. 1996; Bailey i in. 1997a, 1997b; Ruiz-Bello 1997; Bailey i in. 2000].

Celem opracowania było przedstawienie sposobu obliczania wskaźników w zintegrowanym systemie diagnostyki i zaleceń nawozowych DRIS w ujęciu opisanym przez Beverly [1991]. Obliczenia DRIS wykonywane są zwykle przy użyciu programów komputerowych. Jednak ze względu na lepsze zrozumienie i praktyczne poznanie metody DRIS przykłady obliczeń zostały tak przedstawione, aby obliczenia mogły być wykonane przy użyciu kalkulatora.

DEFINICJE

Zawartość pierwiastków N (azotu), P (fosforu) i K (potasu) w roślinie wyraża się w procentach suchej masy. Stosunek zawartości dwóch pierwiastków w badanych próbkach roślinnych wyrażony jest jako średnia $\bar{X} N/P$, a reprezentowany w normie jako $\bar{X} n/p$. Współczynnik zmienności CV dla stosunku N/P jest podany dla normy, przedstawia się jako CVn/p .

W metodzie DRIS używa się stosunków między zawartością pierwiastków do określenia względnej wystarczalności składników nawozowych. Dla jakiś dwóch pierwiastków N i P możliwe są różne formy określania stosunków N/P, P/N i $N \times P$. W praktyce stosunki między zawartością pierwiastków są zazwyczaj używane w celu wyrażenia zależności między pierwiastkami, tak więc określone stosunki pierwiastków często nazywa się formą zależności.

Norma jest standardem wartości i używana jest do oceny stosunków pierwiastków w diagnozowanej próbce roślinnej. Średnia i CV dla populacji wysokich plonów ustalone są jako normy diagnostyczne dla stosunków pierwiastków,

które wpływają na plon. Normy diagnostyczne są określane doświadczalnie i publikowane dla różnych roślin uprawnych.

Funkcja jest wartością liczbową obliczaną przez porównanie stosunku pierwiastków w próbce roślinnej do odpowiedniej wartości liczbowej normy diagnostycznej. Na przykład porównując wartości N/P w próbce roślinnej do normy n/p, stwierdzamy, że obliczona jest zależność określana jako funkcja $f(N/P)$.

Indeks jest to wartość liczbową dla pierwiastka, która przedstawia równowagę w badanej próbce roślinnej w porównaniu z pozostałymi rozważanymi pierwiastkami. Indeks jest obliczany jako średnia wszystkich wartości funkcji i powiązany jest z określonym pierwiastkiem. Indeks dla pierwiastka N jest oznaczony jako IN . Indeksy dla pierwiastków są porównywane, aby ocenić ich względną wartość w próbce roślinnej.

OBLICZENIA

Publikowane wartości diagnostyczne średnich i CV dla stosunków pierwiastków i określonego plonu są używane do obliczania funkcji. Funkcje są obliczane przy użyciu dwóch wzorów, w zależności od tego, czy wartość w próbce roślinnej (N/P) jest większa ($>$), czy mniejsza ($<$) niż w normie ($\bar{X} n/p$).

$$\text{Gdy } N/P > \bar{X} n/p, \text{ wtedy } f(N/P) = 100 [(N/P / \bar{X} n/p) - 1] k / CVn/p$$

$$\text{Gdy } N/P < \bar{X} n/p, \text{ wtedy } f(N/P) = 100 [1 - (\bar{X} n/p / N/P)] k / CVn/p$$

Wartości funkcji określają zmienność wartości stosunków w ocenianej próbce roślinnej. Litera k we wzorze jest współczynnikiem zwykle o wartości 10, który jest używany po to, aby zapewnić, że obydwie funkcje i wartości indeksu były liczbami całkowitymi. Wartość k publikowana jest w normach. Dzielenie przez CV każdego wyrażenia ma większe znaczenie, zwłaszcza dla współczynników z mniejszą zmiennością.

Niektórzy badacze sugerują użycie tylko pierwszego równania do obliczania wartości funkcji, nie dbając czy wartość stosunków jest większa, czy mniejsza od normy. Są jednak powody, by używać dwóch wzorów i takie podejście jest tu prezentowane. Może jednak być trudne, który wzór zastosować. Zależy to od względnej wartości N/P i $\bar{X} n/p$. Upraszczając, można stwierdzić, że te dwa wzory są identyczne oprócz wyrażen w nawiasach.

$$\text{Gdy } N/P > \bar{X} n/p, \text{ to będzie } (N/P / \bar{X} n/p) - 1, \text{ co można przekształcić } (N/P - \bar{X} n/p) / \bar{X} n/p$$

$$\text{Gdy } N/P < \bar{X} n/p, \text{ to będzie } 1 - (\bar{X} n/p / N/P), \text{ co można przekształcić } (N/P - \bar{X} n/p) / N/P$$

A zatem wzory dwóch równań zawierają wyrażenie $(N/P - \bar{X} n/p)$ w liczniku. Jedyną różnicą między tymi wzorami jest to, że w mianowniku jest $\bar{X} n/p$ lub

N/P , niezależnie która wartość jest mniejsza. Gdy $N/P > \bar{X} n/p$, wtedy $f(N/P)$ będzie dodatnia, to znaczy, że N jest większe od P (czyli P jest mniejsze od N) niż w normie dla populacji wysoko plonującej. Natomiast gdy $N/P < \bar{X} n/p$ to $f(N/P)$ będzie ujemna, co oznacza, że N jest względnie mniejsze od P niż w normie.

Wartość indeksu dla każdego pierwiastka przedstawia łącznie wystarczającą zawartość w porównaniu z wszystkimi innymi pierwiastkami. Indeks jest średnią wszystkich wartości dotyczących określonego pierwiastka. Ważne jest, by zwrócić uwagę, że pierwiastek może pojawić się także w liczniku lub mianowniku jakiegokolwiek stosunku. Wartość funkcji może mieć zarówno ujemny, jak dodatni znak. Wartość funkcji jest powiększona (znak bez zmian) w obliczeniach indeksu dla pierwiastka w liczniku lub zmniejszona (znak jest zmieniony) w obliczeniach indeksu dla pierwiastka w mianowniku.

Na przykład wartość $f(N/P)$ jest używana do obliczenia obu indeksów N i P . Jeżeli $f(N/P)$ jest dodatnia, wtedy wartość jest powiększona przy obliczeniach indeksu N , ale odejmowana przy obliczeniach indeksu P . Tak jest, ponieważ wartość dodatnia $f(N/P)$ oznacza wyższą wartość N niż wartość P i niższą wartość P niż wartość N . Daje to zatem dodatni indeks wartości N , a ujemny dla wartości P . Z drugiej strony jeśli wartość $f(N/P)$ jest ujemna, wartość ujemna jest dodana w obliczeniu indeksu N , ale ujemna wartość funkcji jest odejmowana w obliczeniu indeksu P , oznacza to wyższe P w porównaniu z N niż w normie.

Indeks N (IN) zawiera zatem sumę wszystkich wartości funkcji, gdzie N pojawia się w liczniku minus wszystkie wartości funkcji, gdzie N pojawia się w mianowniku, podzielone przez całkowitą liczbę badanych wartości funkcji. Gdy tylko dwie funkcje stanowią podstawę obliczenia indeksu dla pierwiastka N , to wzór można przedstawić jako średnią dla wartości funkcji dotyczących pierwiastka N .

$$IN = [f(N/P) - f(K/N)] / 2$$

Indeksy pierwiastków muszą być właściwie zinterpretowane i zarekomendowane. Jeśli wartości indeksów są ujemne, niekoniecznie oznacza to niedobór pierwiastka. Wartości indeksu DRIS nie mają określonego znaczenia. Dostarczają tylko podstaw do porównania wystarczającej zawartości każdego pierwiastka w stosunku do innych pierwiastków w populacji wysokich plonów. Ponadto indeks DRIS dla pojedynczego pierwiastka jest bez znaczenia, gdyż inne indeksy pierwiastków muszą być uwzględnione w interpretacji. DRIS daje więc podstawę do określenia, który pierwiastek może mieć znaczenie w ograniczeniu plonowania. DRIS rozpoznaje rodzaj ograniczenia plonowania przez jakiś pierwiastek i wskazuje na prawdopodobieństwo reakcji plonowania na zastosowanie tego pierwiastka.

Ponieważ każda funkcja mierzy odchylenia od określonej normy, więc suma wszystkich wartości indeksów dąży do zera. Pierwiastek z największym ujemnym indeksem uważany jest za względnie niedoborowy albo najbardziej ograniczający, ale nie oznacza to aktualnego niedoboru. DRIS ma najlepsze zastosowanie w identyfikowaniu słabego zaopatrzenia rośliny w składniki pokarmowe.

W obliczaniu indeksów DRIS wprowadzono pewne zmiany, włączając do obliczeń indeksy suchej masy (I_{sm}). Wartości funkcji są obliczane dla każdego pierwiastka w porównaniu z sm oraz wartością CV dla zawartości pierwiastków w populacji wysokich plonów jako normy, a funkcje te są włączone do ogólnych obliczeń indeksu. Tylko pierwiastki z wartościami indeksu bardziej ujemnymi niż I_{sm} uważane są za ograniczające. Główną wadą tego sposobu jest to, że uwzględnia wpływ działania czasu na zawartość pierwiastka w procesie diagnostycznym, który DRIS znacznie niweluje. Wysoki ujemny indeks sm zdarza się, gdy próbki są zbierane we wcześniejszych fazach rozwojowych, wówczas zawartość pierwiastka w roślinach jest wyższa.

PRZYKŁADY

Najlepszym sposobem na poznanie metody DRIS jest praktyczne wykonanie obliczeń. Używając danych teoretycznych, można kolejno obliczyć wartości funkcji i wartości indeksu. Dane eksperymentalne obliczane są przy użyciu programów komputerowych według takich samych zasad obliczeniowych.

Tabela 1. Założone zawartości i stosunki pierwiastków w populacji wysokich plonów rośliny uprawnej [Beverly 1991]

Table 1. Assumed element concentration and ratios in the high-yield population of crop [Beverly 1991]

Forma wyrażenia Form of expression	X	CV %
Zawartość Content %		
N	12	10
P	3	15
K	6	20
Stosunek Ratio		
N/P	4,0	30
N/K	2,0	40
P/K	0,5	50

Założmy hipotetyczną zawartość i stosunki pierwiastków w populacji wysokich plonów dla określonego plonu (tab. 1). Zakładamy, że zostało to opubliko-

wane jako najlepsze dostępne normy DRIS. Niech zmienna wartość k równa się 10 dla wszystkich obliczeń funkcji.

Założmy także następującą zawartość pierwiastków N, P i K w roślinach w określonej fazie rozwojowej w badanym obiekcie (tab. 2).

Tabela 2. Założone wyniki analizy roślinnej [Beverly 1991]

Table 2. Assumed tissue analysis results [Beverly 1991]

Próbka Sample	Zawartość pierwiastka Element content %		
	N	P	K
1	10	2	5
2	12	4	5
3	15	5	10

Do każdej próbki należy obliczyć wartości funkcji wykorzystując wartości z tabeli 1 i tabeli 2. Próbka 1: $N/P = 5$, $N/K = 2$, $P/K = 0,4$; $f(N/P) = 100 [5/4 - 1] 10/30 = 100 (5-4)/4 10/30 = 8,3$; $f(N/K) = 100 [2/2 - 1] 10/40 = 0$; $f(P/K) = 100 [1-0,5/0,4] 10/50 = 100 (0,4-0,5)/0,4 10/50 = -5$. Próbka 2: $N/P = 3$, $N/K = 2,4$, $P/K = 0,8$; $f(N/P) = 100 [1-4/3] 10/30 = 100 (3-4)/3 10/30 = 100 (-1)/3 1/3 = -100/9 = -11,1$; $f(N/K) = 100 [2,4/2 - 1] 10/40 = 100 (2,4-2)/2 10/40 = 100 0,4/2 1/4 = 40/8 = 5$; $f(P/K) = 100 [0,8/0,5 - 1] 10/50 = 100 (0,8-0,5)/0,5 10/50 = 100 0,3/0,5 1/5 = 300/25 = 12$. Próbka 3: $N/P = 3$, $N/K = 1,5$, $P/K = 0,5$; $f(N/P) = 100 [1-4/3] 10/30 = 100 (3-4)/3 10/30 = 100 (-1)/3 1/3 = -100/9 = -11,1$; $f(N/K) = 100 [1-2/1,5] 10/40 = 100 (1,5-2)/1,5 1/4 = 100 (-0,5)/1,5 1/4 = -50/6 = -8,3$; $f(P/K) = 100 [0,5/0,5 - 1] 10/50 = 0$.

Dla każdej próbki należy obliczyć wartość indeksu DRIS. Próbka 1: $IN = (8,3+0) / 2 = 4,15 \sim 4$; $IP = (-5-8,3) / 2 = -6,65 \sim -7$; $IK = (0+5) / 2 = 2,5 \sim 3$. Próbka 2: $IN = (-11,1+5) / 2 = -3,05 \sim -3$; $IP = (11,1+12) / 2 = 11,55 \sim 12$; $IK = (-5-12) / 2 = -8,5 \sim -9$. Próbka 3: $IN = (-11,1-8,3) / 2 = -9,7 \sim -10$; $IP = (11,1+0) / 2 = 5,55 \sim 6$; $IK = (8,3-0) / 2 = 4,15 \sim 4$.

Należy obliczyć także funkcję i wartość indeksu dla suchej masy w każdej próbce, przy czym sucha masa (sm) zawsze występuje w mianowniku. Próbka 1: $N/sm = 10$, $P/sm = 2$, $K/sm = 5$; $f(N/sm) = 100 [1-12/10] 10/10 = 100 (10-12)/10 10/10 = -20$; $f(P/sm) = 100 [1-3/2] 10/15 = 100 (2-3)/2 10/15 = -33,3$; $f(K/sm) = 100 [1-6/5] 10/20 = 100 (5-6)/5 10/20 = -10$; $Ism = -(-20-33,3-10) / 3 = 21,1 \sim 21$. Próbka 2: $N/sm = 12$, $P/sm = 4$, $K/sm = 5$; $f(N/sm) = 100 [12/12 - 1] 10/10 = 0$; $f(P/sm) = 100 [4/3 - 1] 10/15 = 100 (4-3)/3 10/15 = 22,2$; $f(K/sm) = 100 [1-6/5] 10/20 = 100 (5-6)/5 1/2 = 100 (-1)/5 1/2 = -100/10 = -10$; $Ism = -(0 + 22,2 - 10) / 3 = -4,06 \sim -4$. Próbka 3: $N/sm = 15$, $P/sm = 5$, $K/sm = 10$; $f(N/sm) = 100 [15/12 - 1] 10/10 = 100 (15-12)/12 = 25$; $f(P/sm) = 100 [5/3 - 1] 10/15 = 100 (5-3)/3 10/15 =$

$2000/45 = 44,4$; $f(K/sm) = 100 [10/6-1] 10/20 = 100 (10-6)/6 10/20 = 100 4/6$
 $1/2 = 400/12 = 33,3$; $I_{sm} = -(25+44,4+33,3) / 3 = -34,2 \sim -34$.

W obliczeniach wartości indeksów M-DRIS należy uwzględnić wyliczone wartości funkcji oraz wartości funkcji dla sm. Próbka 1: $IN = (8,3+0-20) / 3 = -3,9 \sim -4$; $IP = (-5-33,3-8,3) / 3 = -15,5 \sim -16$; $IK = (-10-0+5) / 3 = -1,67 \sim -2$; $I_{sm} = -(20-33,3-10) / 3 = 21,1 \sim 21$. Próbka 2: $IN = (-11,1+5+0) / 3 = -2,03 \sim -2$; $IP = (12+11,1+ 22,2) / 3 = 15,1 \sim 15$; $IK = (-5-12-10) / 3 = -9$; $I_{sm} = -(0 +22,2-10) / 3 = -4,06 \sim -4$. Próbka 3: $IN = (-11,1-8,3+25) / 3 = 1,86 \sim 2$; $IP = (11,1+0 +44,4) / 3 = 18,5 \sim 19$; $IK = (8,3-0+33,3) / 3 = 13,86 \sim 14$; $I_{sm} = -(25+44,4+33,3) / 3 = -34,2 \sim -34$.

Obliczone indeksy DRIS i M-DRIS przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Zestawienie wszystkich obliczonych indeksów DRIS i M-DRIS [Beverly 1991]

Table 3. Tabulation of all DRIS and M-DRIS indices [Beverly 1991]

Próbka Sample	Metoda Method	Indeks Index			
		N	P	K	sm dm
1	DRIS	4	-7	3	21
	M-DRIS	-4	-16	-2	
2	DRIS	-3	12	-9	-4
	M-DRIS	-2	15	-9	
3	DRIS	-10	6	4	-34
	M-DRIS	2	19	14	

Tabela 4. Określenie najbardziej ograniczających pierwiastków dla wartości indeksów [Beverly 1991]

Table 4. Identify the most limiting elements on index values [Beverly 1991]

Próbka Sample	DRIS	M-DRIS
1	P	P>N>K
2	K>N	K
3	N	-

Określenie najbardziej ograniczającego pierwiastka lub ograniczających pierwiastków w oparciu o wartości indeksów przedstawia tabela 4.

INTERPRETACJA

Próbka 1. Indeks DRIS dla P jest najbardziej ujemny, jeśli porównamy to z indeksami N i K, stwierdzimy, że P w największym stopniu ogranicza plon. Jednakże należy zauważyć, że indeksy M-DRIS są ujemne dla wszystkich trzech pierwiastków (N, P i K), a indeks sm ma wysoką wartość dodatnią. Taka sytu-

acja może wskazywać na to, że wszystkie trzy pierwiastki są ograniczające, a P jest najbardziej z nich.

Próbka 2. Indeksy K i N mają niską wartość. Wnioskujemy zatem, że mogą być pierwiastkami ograniczającymi plonowanie. Natomiast zawartość N jest taka sama jak w normie (12%), tak więc nie należy oczekiwać ograniczenia plonu. Ujemny indeks M-DRIS jest spowodowany wysoką zawartością P. Gdy indeks N jest mniej ujemny niż indeks sm, wtedy tylko K może istotnie wpływać na ograniczenie plonu.

Próbka 3. Porównując N, P i K, można spodziewać się ograniczenia plonowania przez N na podstawie obliczonego indeksu dla tego pierwiastka. Jednakże wszystkie trzy pierwiastki mają większą zawartość niż norma. Ujemny indeks DRIS dla N wskazuje na to, że P i K są raczej w nadmiarze niż N. *I*sm jest ujemny, co świadczy, że żaden z trzech pierwiastków faktycznie nie ogranicza plonowania, a próbka roślinna była pobrana w zbyt wczesnej fazie rozwojowej.

PODSUMOWANIE

DRIS dobrze charakteryzuje kompozycję pierwiastków wielu gatunków roślin uprawnych jakkolwiek, istotne byłoby to, aby publikowane normy DRIS były właściwie obliczone dla funkcji i wartości indeksu, a także to aby były właściwie interpretowane. Indeksy DRIS są względną miarą niedoboru lub nadmiaru składników pokarmowych oraz względną miarą zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe. Indeksy DRIS dają możliwość uszeregowania ograniczającego wpływu składników pokarmowych na plon i mogą być wykorzystane do uściślenia zaleceń nawozowych z uwzględnieniem właściwości i warunków agrosystemu oraz oszacowania wielkości plonu.

Przedstawiony przykład obliczeń wskaźników DRIS obejmuje trzy pierwiastki N, P i K tylko dlatego, żeby przykład obliczeń i interpretacji był przejrzysty. W praktycznym zastosowaniu metoda DRIS jest niezwykle prosta, gdyż sprowadza się do oznaczenia określonych pierwiastków w roślinie i wprowadzenia danych do obliczenia programem komputerowym bezpośrednio z klawiatury lub z bazy danych, a wyniki jako indeksy DRIS i M-DRIS otrzymuje się natychmiast. W pracach przy określaniu norm DRIS, a także informatycznych przy opracowywaniu programów DRIS należałoby koniecznie uwzględnić makroelementy N, P, K, Ca, Mg i S oraz mikroelementy w zależności od specyfiki rośliny uprawnej.

Praktyczne wykorzystanie metody DRIS zależy wyłącznie od wiedzy, umiejętności i świadomości farmera, który chciałby stosować nawozy opierając się na nowoczesnych zaleceniach nawozowych. A zatem praktycznie metoda DRIS może być zastosowana tylko w warunkach dobrze zorganizowanego doradztwa rolniczego i nowoczesnej produkcji roślinnej.

PIŚMIENNICTWO

- Arranz C., Perez-Sanz A., Lucena J.J., Carpena O. 1996. DRID norms evaluation from citrus plants grown in hydroponic culture. IXth International Colloquium for the Optimization of Plant Nutrition. 8–15 September 1996, Prague, Czech Republic, 598–600.
- Bailey J.S., Beattie J.A.M., Kilpatrick D.J. 1997a. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for diagnosing the nutrient status of grassland swards. I. Model establishment. *Plant and Soil* 197, 127–135.
- Bailey J.S., Cushnahan A., Beattie J.A.M. 1997b. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for diagnosing the nutrient status of grassland swards. II. Model calibration and validation. *Plant and Soil* 197, 137–147.
- Bailey J.S., Dils R.A., Foy R.H., Patterson D. 2000. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for diagnosing the nutrient status of grassland swards. III Practical applications. *Plant and Soil* 222, 255–262.
- Beaufils E.R. 1973. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa, *Soil Science Bulletin*, No. 1, 1–132.
- Beverly R.B. 1991. Calculating and interpreting DRIS index values. In: J. Benton Jones Jr, Benjamin Wolf and Harry A. Mills; *Plant Analysis Handbook*. Micro – Macro Publishing, Inc., Athens, GA, USA, 205–213.
- Beverly R.B. 1993. DRIS diagnoses of soybean nitrogen, phosphorus, and potassium status are unsatisfactory. *J. Plant Nutr.* 16, 8, 1431-1447.
- Calouro F., Duarte L., Jardim P.V., Vicente M.A., Soveral Dais J.C. 1996. A DRIS application to the Portuguese pear tree cultivar Rocha. IXth International Colloquium for the Optimization of Plant Nutrition. Prague, Czech Republic, 591–597.
- Elwali A.M.O., Gascho G.J., Sumner A.E. 1985. DRIS norms for 11 nutrients in corn leave. *Agron. J.* 77, 506–508.
- Grove J.H., Sumner M.E. 1982. Yield and leaf composition of sunflower in relation to N, P, K, and lime treatments. *Fert. Res.* 3, 367–378.
- Letzsch W.S., Sumner M.E. 1984. Effect of population size and yield level in selection of diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) norms. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15, 9, 997–1006.
- Parnet L.E., Granger R.L. 1989. Derivation of DRIS norms from high-density apple orchard established in the Quebec Appalachian Mountains. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114, 6, 915–919.
- Ruiz-Bello A. 1997. Plant nutrient diagnostic for fertilization of sugar cane in Tabasco, Mexico (DRIS). 11th International World Fertilizer Congress, Gent, Belgium, 3, 379–383.
- Sumner M.E. 1980. Agriculture, soil and crop practices. In: McGraw Hill Yearbook Science and Technology, McGraw-Hill Book Company, Inc., ss. 2.
- Sumner M.E. 1981. Diagnosing the sulfur requirements of corn and wheat using foliar analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 1, 87–90.
- Sumner M.E. 1986. Diagnosis and recommendation integrated system DRIS as a guide to orchard fertilization. Food and Fertilizer Technology Center, Taipei, Taiwan, *Extension Bulletin* 231, 1–21.
- Sumner M.E., Beaufils E.R. 1975. Diagnosis of the NPK requirements of sugarcane irrespective of plant age and season using Beaufils' system (DRIS) – preliminary observations. The South African Sugar Technologists Association, 137–141.

-
- Sumner M.E., Farina M.P.W. 1986. Phosphorus interactions with other nutrients and lime in field cropping system. *Advances in Soil Science* 5, 201–236.
- Sumner M.E., Reneau, Jr., R.B., Schulte E.E., Arogun J.O. 1983. Foliar diagnostic norms for sorghum. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 14, 9, 817–825.
- Walworth J.L., Letzsch W.S., Sumner M.E. 1986a. Use of boundary lines in establishing diagnostic norms. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, 1, 123–128.
- Walworth J.L., Sumner M.E., Isaac R.A., Plank C.O. 1986b. Preliminary DRIS norms for alfalfa in southeastern United States and a comparison with midwestern norms. *Agron. J.* 78, 6, 1046–1052.
- Walworth J.L., Sumner M.E. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Advances in Soil Science* 6, 149–188.
- Wortmann C.S. 1992. Interpretation of foliar nutrient analysis in bean – the diagnosis and recommendation integrated system. Network on bean research in Africa, Occasional Paper Series No. 5, CIAT, Dar Es Salaam, Tanzania.
- Wortmann C.S., Kisakye J., Edje O.T. 1992. The diagnosis and recommendation integrated system for dry bean: determination and validation of norms. *J. Plant Nutr.* 15, 11, 2369–2379.