

WSKAŹNIK TRWAŁOŚCI AGREGATÓW GLEBOWYCH (ASI) I JEGO EKSTREMALNE WARTOŚCI

J. Niewczas, B. Witkowska-Walczak

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
e-mail: niewczas@demeter.ipan.lublin.pl

Streszczenie. Przedstawiono sposób wykorzystania maksymalnych i minimalnych wartości wskaźnika trwałości agregatów glebowych (ASI). Wyznaczają one przedział, w zakresie którego może zmieniać się wartość wskaźnika trwałości agregatów glebowych dla jednokierunkowych zmian agregacji gleby i przyjętego w pracy kryterium oceny trwałości agregatów. Na bazie ASI wyznaczonego dla testowanej gleby oraz przedziału jego możliwych zmian zdefiniowano inne wskaźniki, charakteryzujące względny charakter zmian agregacji. Przedstawioną metodę analizy trwałości agregacji zilustrowano na przykładzie trzech gleb i różnych metod oznaczania wodoodporności.

Słowa kluczowe: agregacja gleby, trwałość agregatów, tablice przejścia.

WPROWADZENIE

Celem uprawy roli jest osiągnięcie w niej optymalnych warunków fizycznych, tj. odpowiedniej gęstości i agregacji. Optymalne właściwości fizyczne gleby ułatwiają przemieszczanie się w niej wody i powietrza wraz ze składnikami pokarmowymi, co wpływa na odpowiednie kiełkowanie, wschody, wzrost i rozwój roślin. Do określania trwałości agregatów glebowych stosowane są różnorodne metody i wskaźniki [1,2,11]. Najczęściej jednak określana jest wodoodporność agregatów glebowych [4,5,7,8]

Niewczas i Witkowska-Walczak [8] zaproponowali wskaźnik trwałości agregatów glebowych (ASI- Aggregate Stability Index), który można stosować niezależnie od rodzaju czynnika destrukcyjnego, wpływającego na zmianę agregacji gleby i od metod oznaczania trwałości agregatów. Zdefiniowano go jako wartość funkcji liniowej o argumentach będących elementami tablicy przejścia

[6], której współczynnikami są odpowiednio dobrane wagi. Elementami tablicy przejścia są empiryczne prawdopodobieństwa pozostania agregatu w tej samej klasie lub jego przejścia do innej klasy wskutek działania czynnika destrukcyjnego. Wagi przypisane są każdemu elementowi tablicy i podkreślają znaczenie każdego ze wspomnianych przejść. Zaproponowane przez Niewczasa i Witkowską-Walczak [8] wagi, tj. 1, 2, 4, 8, 16, 32; determinują zakres wartości wskaźnika trwałości. Jest nim przedział $\langle 1; 32 \rangle$. Definicja wskaźnika pozwala obliczać jego wartości dla każdej z klas agregatów oddzielnie, a ich suma jest wskaźnikiem trwałości dla całej próby glebowej. Zachowana jest zatem addytywność określonej miary trwałości.

Celem niniejszej pracy jest znalezienie ograniczeń wskaźnika ASI - jego maksymalnej (ASI_{max}) i minimalnej (ASI_{min}) wartości dla konkretnej próbki gleby, która poddana była działaniu określonego czynnika destrukcyjnego i charakteryzowała się znaną parą rozkładów częstości agregatów przed i po działaniu tego czynnika. Wynika to stąd, że sama wartość wskaźnika nie jest w pełni zadowalającą miarą trwałości, jeśli nie jest znany przedział, w obrębie którego wartość ta może się zmieniać.

Ograniczenia wskaźnika oraz jego wartość faktyczna (ASI_{test}), obliczona na podstawie faktycznej tablicy przejścia dla testowanej próbki glebowej, posłużyły również do określenia innych wskaźników pomocniczych, świadczących o jakości zmian agregatów próbki glebowej.

ZAŁOŻENIA TEORETYCZNE

Ekstremalne zmiany wskaźnika trwałości agregatów glebowych (ASI_{max} , ASI_{min})

Kryteria ekstremalnych zmian agregacji próbki glebowej zależą od konkretnego, rozpatrywanego zagadnienia i implikują dobór układu wag, a te z kolei - postaci ekstremalnych tablic przejścia. Kryteria te można formułować w oparciu o to, jakie zmiany sklasyfikowanych elementów próbki materiału w wyniku zaistniałego lub zamierzonego czynnika uważa się za ekstremalnie przeciwstawne. Ze sposobu zdefiniowania układu wag, a zatem i wskaźnika trwałości agregatów glebowych (ASI) [8] wynika, że spośród gleb o tych samych rozkładach częstości na wejściu i na wyjściu najbardziej trwałą agregacją charakteryzuje się ta, której możliwie największa część agregatów nie ulega destrukcji, a pozostała ich część rozpadając się, przechodzi do klas możliwie najbliższych tym, w których znajdowały się na wejściu. Analogicznie określono próbkę gleby, która charakteryzuje się najmniejszą trwałością. Jest to próbka gleby, której możliwie najmniejsza część agregatów nie

uległa destrukcji, a pozostała część, rozpadając się, przechodzi do klas możliwie najdalszych; oczywiście na tyle, na ile umożliwiają to więzy wynikające z rozkładów częstości agregatów przed i po działaniu czynnika destrukcyjnego.

Zdefiniowano więc ASI_{max} jako teoretycznie możliwie największy wskaźnik trwałości agregatów glebowych, jaki można byłoby przypisać dowolnej glebie o tych samych rozkładach częstości agregatów na wejściu i na wyjściu, co testowana próbka glebowa. Obliczany jest on na podstawie teoretycznie wyznaczonej tablicy przejścia T_{max} . Analogicznie zdefiniowano ASI_{min} - teoretycznie możliwie najmniejszy wskaźnik trwałości agregatów glebowych, jaki można byłoby przypisać dowolnej glebie o tych samych rozkładach częstości agregatów na wejściu i na wyjściu, co testowana próbka glebowa. Obliczany jest na podstawie teoretycznie wyznaczonej tablicy przejścia T_{min} .

Ekstremalne tablice przejścia, T_{max} i T_{min} , oraz ekstremalne wskaźniki trwałości agregatów, ASI_{max} i ASI_{min} , dla zmian jednokierunkowych i przyjętych powyżej kryteriów ekstremalnych zmian agregacji próbki glebowej można znajdować przy pomocy algorytmu simplex programowania liniowego. Jest to uniwersalny algorytm należący do grupy metod operacyjnych. Znajduje on ekstremalne wartości liniowej funkcji celu o liniowej postaci jej ograniczeń [9].

Przedział ekstremalnych zmian wskaźnika trwałości agregatów testowanej próbki gleby i jego długość (ΔASI)

Znając wskaźnik trwałości dla testowanej próbki gleby (ASI_{test}) obliczony na podstawie jej tablicy przejścia (T_{test}), byłoby korzystne wiedzieć, jak dalece odbiega on od ASI_{max} i ASI_{min} , jakie można otrzymać dla danej pary rozkładów częstości na wejściu i na wyjściu, czyli znać odpowiedzi na następujące pytania:

- czy czynnik destrukcyjny powoduje, że agregaty poddane jego działaniu są podatne na destrukcję w najwyższym możliwym stopniu, czy też przeciwnie - są podatne na destrukcję w najniższym możliwym stopniu?
- jak duży może być rozstęp między minimalną (ASI_{min}) a maksymalną (ASI_{max}) wartością wskaźnika trwałości agregatów?

Liczby ASI_{min} i ASI_{max} wyznaczają na skali wskaźnika trwałości bardzo przydatny do dalszych analiz przedział $\langle ASI_{min}, ASI_{max} \rangle$, który nazwano *przedziałem trwałości* agregatów glebowych. Jest to zakres możliwych zmian wskaźnika trwałości agregatów próbki glebowej ASI_{test} . Przedział ten oraz wartość ASI_{test} mogą służyć do porównywania zmian agregacji różnych gleb, różnych czynników destrukcyjnych lub tej samej gleby między określonymi momentami pewnego procesu.

Przedział i należąca do niego wartość ASI_{test} stanowią analogię do przedziałów ufności, stosowanych w statystyce matematycznej. Jednakże wartość ASI_{test} zazwyczaj nie leży w środku tego przedziału, a w skrajnych przypadkach może pokrywać się z którymś jego końców. Gdy przedział $\langle ASI_{min}; ASI_{max} \rangle$ redukuje się do jednego punktu, wówczas $ASI_{test} = ASI_{min} = ASI_{max}$. Tak więc duże znaczenie może mieć zarówno usytuowanie *przedziału trwałości* na skali ASI, jak i jego długość, którą można interpretować jako bezwzględny zakres możliwych zmian trwałości badanej próbki glebowej:

$$\Delta ASI = ASI_{max} - ASI_{min}.$$

Przedział trwałości, $\langle ASI_{min}; ASI_{max} \rangle$, jest bardzo przydatną przybliżoną miarą trwałości agregacji gleby wówczas, gdy metoda oznaczania skutków destrukcji agregatów nie pozwala na zbudowanie tablicy przejścia T_{test} , czyli wtedy, gdy jedynymi danymi do analizy trwałości są rozkłady częstości przed i po działaniu czynnika destrukcyjnego. Faktyczna wartość wskaźnika trwałości (ASI_{test}) należy do przedziału trwałości, więc z możliwie najmniejszym błędem można ocenić jego przybliżoną wartość ASI_{test}^* przyjmując, że:

$$ASI_{test}^* = (ASI_{max} + ASI_{min})/2.$$

Oczywiście, im krótszy jest przedział trwałości $\langle ASI_{min}; ASI_{max} \rangle$, tym dokładniejsza jest ocena ASI_{test}^* .

Jeśli skutkami działania czynnika destrukcyjnego są zmiany jednokierunkowe, wówczas dla określonej pary rozkładów częstości na wejściu i na wyjściu można zbudować na ogół nie jedną tablicę przejścia. Istnienie przynajmniej jednej tablicy przejścia gwarantuje przeprowadzony eksperyment i wyznaczona na jego podstawie tablica T_{test} . Tylko jedna tablica przejścia istnieje wówczas gdy, np. rozkład na wejściu jest identyczny z rozkładem na wyjściu lub jeden z tych rozkładów jest zredukowany do jednej klasy. Jest oczywiste, że wówczas przedział trwałości redukuje się do jednego punktu, a zakres trwałości jest zerem. Drugą skrajnością jest istnienie bardzo szerokiego przedziału trwałości, pokrywającego znaczną część skali ASI, wówczas zakres trwałości jest bardzo duży. Wynika stąd jasno, że krótszy zakres trwałości ΔASI agregatów świadczy o większej ich trwałości.

Jeśli próbka analizowanej gleby jest dostatecznie reprezentatywna, wówczas przedział trwałości $\langle ASI_{min}; ASI_{max} \rangle$ oraz wartość ASI_{test} , znajdująca się w tym przedziale, w pełni obrazują bezwzględny charakter jakości zmian jej agregacji na skali wskaźnika trwałości. Mogą one służyć również do porównywania agregacji wielu gleb i różnych metod oznaczania trwałości agregatów bądź też do analizy trwałości agregatów tej samej gleby, np. w procesie jej cyklicznego nawilżania

i osuszania. W pewnym sensie jest to analogia do wyników analiz statystycznych, które umożliwiają przedstawienie średniej wartości cechy wraz z jej przedziałem ufności.

Wskaźniki pomocnicze (δ ASI, q ASI)

Za pomocą trójki liczb: ASI_{test} , ASI_{min} i ASI_{max} można określić dodatkowe, pomocnicze wskaźniki, opisujące właściwości zmian agregacji próbki glebowej. Służą one do oceny względnej jakości zmian agregacji.

Względny zakres trwałości agregatów (δ ASI):

$$\delta ASI = 100 (ASI_{max} - ASI_{min}) / ASI_{test} = 100 \Delta ASI / ASI_{test} [\%].$$

Jeśli:

- $ASI_{max} = ASI_{min}$, wtedy także $ASI_{test} = ASI_{max} = ASI_{min}$, i wówczas $\Delta ASI = 0$,
- a tym samym $\delta ASI = 0\%$,
- $\Delta ASI \leq ASI_{test}$, wtedy $\delta ASI \leq 100\%$,
- $\Delta ASI > ASI_{test}$, to $\delta ASI > 100\%$.

Wartość δASI jest zatem zakresem trwałości obliczonym względem wartości wskaźnika trwałości agregatów dla testowanej próbki glebowej. Przy tej samej wartości ASI_{test} , większej wartości ΔASI odpowiada większa (bliższa 100%) wartość δASI i przeciwnie - mniejszej wartości ΔASI odpowiada mniejsza (bliższa 0%) wartość δASI , co świadczy o większej trwałości agregatów glebowych. Natomiast, gdy zakres trwałości ΔASI jest stały, to większemu ASI_{test} odpowiada mniejsze δASI i odwrotnie. Wskaźnik δASI można nazwać *względnym wskaźnikiem zmienności agregacji*. Jest to analog wskaźnika zmienności W cechy X , używanego w statystyce: $W = 100 dev(x) / \bar{x} [\%]$.

Wskaźnik jakości zmian agregacji (q ASI):

$$q ASI = 100 (ASI_{test} - ASI_{min}) / \Delta ASI [\%].$$

Jeśli:

- $ASI_{test} = ASI_{max}$, to $q ASI = 100\%$,
- $ASI_{test} = ASI_{min}$, to $q ASI = 0\%$,
- ASI_{test} leży w środku przedziału trwałości $\langle ASI_{min}, ASI_{max} \rangle$, wówczas $q ASI = 50\%$.
- $ASI_{test} = ASI_{max} = ASI_{min}$, wówczas umownie należy przyjąć, że $q ASI = 100\%$.

Wskaźnik ten jest miarą położenia ASI_{test} w przedziale trwałości $\langle ASI_{min} ; ASI_{max} \rangle$. Im ASI_{test} jest usytuowany bliżej ASI_{max} , tym $q ASI$ jest bliższy 100%, zatem trwałość agregatów takiej próbki jest bliższa możliwie największej, jaką próbka mogłaby przyjąć, czyli największej, jaka wynika z pary rozkładów

częstości na wejściu i na wyjściu. I przeciwnie, im ASI_{test} usytuowany jest bliżej ASI_{min} , tym $qASI$ jest bliższy 0%, a trwałość takiej próbki jest bliższa możliwie najmniejszej.

MATERIAŁ GLEBOWY I METODY OKREŚLANIA WODOODPORNOŚCI AGREGATÓW

Prezentację zastosowania opisanych przedziałów trwałości i pomocniczych wskaźników przeprowadzono dla trzech typów gleb. Uzyskane wyniki umożliwiły porównanie zmian agregacji różnych gleb pod wpływem działania wody, jak i ocenę zastosowanych metod oznaczania wodoodporności. Wybrano następujące gleby: czarnoziem wytworzony z lessu (Haplic Phaeozem), czarną ziemię wytworzoną z gliny piaszczystej lekkiej (Mollic Glysol) oraz rędzinę właściwą wytworzoną z kredy piszącej (Orthic Rendzina). Próby glebowe do badań pobrano z warstwy ornej. Po ich wysuszeniu w laboratorium do stanu powietrznie suchego oznaczono agregację gleb używając standartowej metody przesiewania [10,13]. Do analizy odporności agregatów na działanie wody wykreowano sześć klas (frakcji). W rosnącej kolejności średnic [mm], granice klas były następujące: $kl_6 = (0; 0,25)$, $kl_5 = (0,25; 0,5)$, $kl_4 = (0,5; 1)$, $kl_3 = (1; 3)$, $kl_2 = (3; 5)$, $kl_1 = (5; 10)$ (przeciwny do wielkości średnic kierunek numeracji klas wynika z przyjętego, destrukcyjnego kierunku zmian wielkości agregatów). Wodoodporność agregatów badanych gleb oznaczono następującymi metodami: deszczowania [3], cykli nawilżania-osuszania [12] oraz przesiewania w wodzie [10,13].

WYNIKI BADAŃ

Dane do analizy trwałości agregatów

Wyniki wodoodporności agregatów dla każdej z testowanych próbek glebowych zestawiono w tablicach przejścia T_{test} . Przykładową tablicę T_{test} dla czarnoziemiu pokazano w Tabeli 1. Tablice przejścia T_{test} posłużyły do otrzymania rozkładów diagonalnych, a te z kolei - do obliczenia wskaźników trwałości agregatów (ASI_{test}). Zestawienie tych wyników zawiera Tabela 2.

Korzystając z rozkładów częstości na wejściu i na wyjściu, przy pomocy programu komputerowego, realizującego algorytm simplex [9], dla każdej z analizowanych próbek glebowych obliczono odpowiadające im ekstremalne tablice przejścia T_{max} i T_{min} oraz ekstremalne wskaźniki trwałości ASI_{max} i ASI_{min} . Przykładowe ekstremalne tablice przejścia T_{max} i T_{min} dla czarnoziemiu pokazano w Tabeli 1.

Tabela 1. Tablice przejścia (T_{test} , T_{max} i T_{min}) dla agregatów czarnoziemiu (metoda deszczowania)
 Table 1. Transition matrices (T_{test} , T_{max} i T_{min}) for chernozem aggregates (rainfall method)

T_{test}

przed działaniem wody						po działaniu wody	
5-10	3-5	1-3	0,5-1	0,25-0,5	<0,25	Fracja agregatów	(klasa) [mm]
0,18	0,10	0,28	0,16	0,10	0,18	$\Sigma=1,00$	
0,10						0,10	5-10
0,04	0,07					0,11	3-5
0,01	0,01	0,25				0,27	1-3
0,01	0,01	0,01	0,15			0,18	0,5-1
0,01	0	0	0	0,10		0,11	0,25-0,5
0,01	0,01	0,02	0,01	0	0,18	0,23	<0,25

T_{max}

przed działaniem wody						po działaniu wody	
5-10	3-5	1-3	0,5-1	0,25-0,5	<0,25	Fracja agregatów	(klasa) [mm]
0,18	0,10	0,28	0,16	0,10	0,18	$\Sigma=1,00$	
0,10						0,10	5-10
0,01	0,10					0,11	3-5
0	0	0,27				0,27	1-3
0,01	0	0,01	0,16			0,18	0,5-1
0,01	0	0	0	0,10		0,11	0,25-0,5
0,05	0	0	0	0	0,18	0,23	<0,25

T_{min}

przed działaniem wody						po działaniu wody	
5-10	3-5	1-3	0,5-1	0,25-0,5	<0,25	Fracja agregatów	(klasa) [mm]
0,18	0,10	0,28	0,16	0,10	0,18	$\Sigma=1,00$	
0,10						0,10	5-10
0,08	0,03					0,11	3-5
0	0,07	0,20				0,27	1-3
0	0	0,08	0,10			0,18	0,5-1
0	0	0	0,06	0,05		0,11	0,25-0,5
0	0	0	0	0,05	0,18	0,23	<0,25

Tabela 2. Wagi (w_0, w_1, \dots, w_5 ; 32, 16, ..., 1), częstotliwości (d_0, d_1, \dots, d_5) rozkładów diagonalnych oraz wskaźniki trwałości agregatów (ASI [-]) badanych gleb

Table 2. Weights (w_0, w_1, \dots, w_5 ; 32, 16, ..., 1), frequencies (d_0, d_1, \dots, d_5) of diagonal distributions and soil aggregates stability indices (ASI [-]) of investigated soils

Gleba	Metoda	Wagi					ASI	
		w_0	w_1	w_2	w_3	w_4		w_5
		32	16	8	4	2	1	
		d_0	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	
Czarno- ziem	Deszczowanie	0,85	0,06	0,03	0,03	0,02	0,01	28,6
	1 cykl n-o	0,73	0,15	0,06	0,03	0,02	0,01	26,4
	10 cykli n-o	0,56	0,14	0,11	0,11	0,04	0,04	21,6
	Przesiewanie	0,43	0,09	0,16	0,16	0,06	0,10	17,3
Czarna ziemia	Deszczowanie	0,78	0,10	0,05	0,04	0,01	0,02	27,2
	1 cykl n-o	0,73	0,14	0,05	0,03	0,04	0,01	26,2
	10 cykli n-o	0,61	0,14	0,07	0,08	0,08	0,02	22,8
	Przesiewanie	0,58	0,16	0,09	0,05	0,07	0,05	22,2
Rędzina	Deszczowanie	0,92	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	30,2
	1 cykl n-o	0,78	0,13	0,04	0,02	0,02	0,01	27,5
	10 cykli n-o	0,55	0,23	0,08	0,07	0,05	0,02	22,3
	Przesiewanie	0,49	0,16	0,12	0,12	0,06	0,05	19,9

Oszacowanie przedziałów częstości agregatów trwałych i ulegających rozpadowi

Wskaźnik trwałości agregatów ASI uwzględnia wszystkie częstości tablicy przejścia. Niekiedy jednak może być przydatny tylko zakres odsetka agregatów, które mogą ulec rozpadowi, nawet bez wnikania w to, jak dalece ten rozpad może sięgać. W celu wykonania takiego oszacowania, na podstawie wyznaczonych ekstremalnych tablic przejścia dla wszystkich próbek glebowych obliczono rozkłady częstości diagonalnych. Korzystając z nich oraz z rozkładów częstości diagonalnych podanych w Tabeli 2, zestawiono przewidywane i faktyczne częstości agregatów ulegających rozpadowi oraz możliwy ich zakres w badanych glebach (Tab. 3), bez względu na liczbę klas, o jaką nastąpił rozpad. Z prezentowanych danych wyraźnie widać, że podane zakresy faktycznie obejmują rzeczywistą ilość agregatów, które uległy rozpadowi. Stosunkowo najkrótsze zakresy rozpadu agregatów otrzymano dla gleb poddanych deszczowaniu, a najdłuższe - poddanych przesiewaniu na mokro. Wpływ typu i rodzaju gleb okazał się mniej wyraźny.

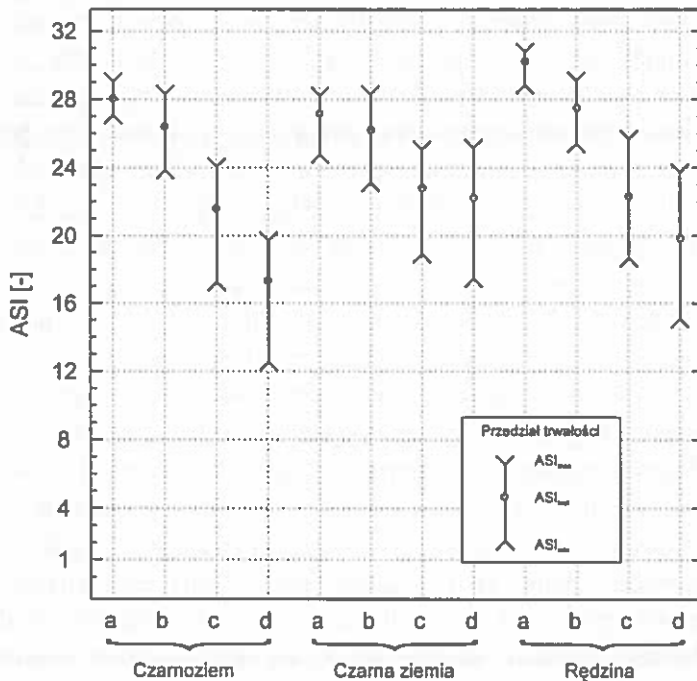
Korzystając z wymienionych rozkładów częstości diagonalnych, można skonstruować podobną tabelę do oszacowania częstości agregatów, które nie ulegną rozpadowi, czyli przetrwają destrukcyjne działanie wody. Podanego typu oszacowania mogą być szczególnie przydatne, gdy metoda oznaczania skutków działania czynnika destrukcyjnego nie pozwala na skonstruowanie tablicy przejścia T_{test} , a jedynymi dostępnymi danymi są rozkłady częstości agregatów na wejściu (przed działaniem czynnika destrukcyjnego) i na wyjściu (po jego działaniu). Warto przy tym zauważyć, że suma częstości ostatniej niezerowej klasy na wejściu i pierwszej niezerowej klasy na wyjściu jest minimalną częścią agregatów, które na pewno nie ulegną rozpadowi. Suma ta jest jednak zbyt pesymistycznym oszacowaniem odsetka agregatów, które nie ulegną rozpadowi. Świadczą o tym elementy d_0 rozkładów częstości diagonalnych, otrzymanych z tablic T_{min} dla badanych próbek glebowych. Są one zazwyczaj większe, niż wspomniane sumy (patrz: główna przekątna ostatniej tablicy T_{min} w Tab. 1).

Tabela 3. Przewidywana i faktyczna częstość agregatów ulegających rozpadowi oraz możliwy ich zakres w badanych glebach [%]
 Table 3. Estimated and real frequency of aggregates subjected destruction and their probable range in investigated soils [%]

Gleba	Metoda	Przewidywany rozpad		Zakres rozpadu (max-min)	Faktyczny rozpad
		min	max		
Czarna- ziem	Deszczowanie	0,09	0,34	0,25	0,15
	I cykl n-o	0,14	0,49	0,35	0,27
	10 cykli n-o	0,29	0,76	0,47	0,44
	Przesiewanie	0,45	0,82	0,37	0,57
Czarna ziemia	Deszczowanie	0,15	0,44	0,29	0,22
	I cykl n-o	0,13	0,52	0,39	0,27
	10 cykli n-o	0,25	0,67	0,42	0,39
	Przesiewanie	0,24	0,78	0,54	0,42
Rędzina	Deszczowanie	0,07	0,18	0,11	0,08
	I cykl n-o	0,11	0,40	0,29	0,22
	10 cykli n-o	0,23	0,76	0,53	0,45
	Przesiewanie	0,29	0,85	0,56	0,51

Przedziały trwałości i zakres trwałości agregatów badanych gleb ($(ASI_{min}; ASI_{max}); \Delta ASI$)

Wyznaczone dla agregatów każdej gleby trójki wskaźników ASI_{min} , ASI_{max} i ASI_{test} stanowią podstawę do analizy ich trwałości. Na Rys. 1 przedstawiono przedziały trwałości agregatów dla wszystkich badanych gleb oznaczonej różnymi metodami. W każdym przypadku wartość ASI_{test} znajduje się wewnątrz przedziału trwałości. Wyższemu usytuowaniu przedziału trwałości na skali trwałości agregatów towarzyszą większe wartości ASI_{test} . W obrębie każdej z gleb przedziały te są tym dłuższe, im bardziej drastyczne metody stosowano do oznaczania wodoodporności agregatów. Dla przyjętego uporządkowania metod



Rys. 1. Przedziały wartości wskaźnika trwałości agregatów czarnoziemu, czarnej ziemi i rędziny (wodoodporność agregatów oznaczono metodami: a - deszczowania, b - 1 cyklu nawilżania - osuszania, c - 10 cykli nawilżania - osuszania, d - przesiewania na mokro).

Fig.1. Ranges of values of aggregate stability indices for chernozem, black earth and rendzina (water stability of aggregates was determined by methods: a - rainfall, b - 1 cycle of wetting-drying, c - 10 cycles of wetting-drying, and d - wet sieving).

wzrostowi długości tych przedziałów towarzyszył spadek trwałości agregatów, zatem zakres możliwych zmian agregacji jest ściśle związany z zastosowaniem konkretnej metody badania wodoodporności. Jest bowiem faktem powszechnie znanym, że łagodne oddziaływania na glebę nie mogą powodować dużych zmian jej agregacji [1,10,11]. W badanych przypadkach glebą o najbardziej zróżnicowanej reakcji na metody oznaczania wodoodporności okazała się rędzina, gdyż dla niej wartości ΔASI (czyli $ASI_{max} - ASI_{min}$) są najbardziej zróżnicowane - od 1,3 (dla metody deszczowania) do 8,3 (dla metody przesiewania w wodzie).

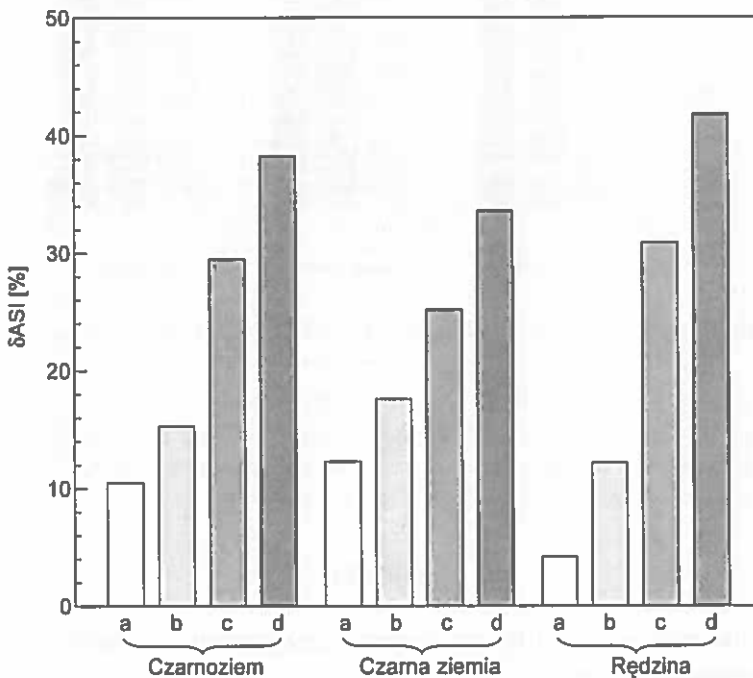
Względny zakres trwałości agregatów (δASI)

Może się zdarzyć, że dwa różne przedziały trwałości mają tę samą długość (czyli jednakowy zakres trwałości - ΔASI), lecz inne usytuowanie na skali ASI. Za przykład takiej pary mogą posłużyć przedziały trwałości dla czarnoziemiu uzyskane metodami: 10 cykli nawilżania-osuszania oraz przesiewania na mokro (Rys. 1). Za ilustrację odmiennego przypadku może posłużyć para przedziałów trwałości dla czarnoziemiu i czarnej ziemi, których próbki gleb były poddane 1 cyklowi nawilżania-osuszania. Wartości ASI_{test} w obu tych przedziałach mają bardzo zbliżone usytuowanie na skali ASI, lecz drugi przedział jest wyraźnie dłuższy (dla czarnoziemiu $\Delta ASI = 4,0$, a dla czarnej ziemi - 4,6). W takim przypadku skutecznym sposobem porównania zakresu trwałości podanych par próbek glebowych jest obliczenie dla nich względnych zakresów trwałości - δASI . Na Rys. 2 przedstawiono (w tym samym układzie jak na Rys.1) δASI dla wszystkich badanych gleb. Z wykresu wyraźnie widać, że δASI pozwala na jeszcze wyraźniejsze rozróżnienie obu par gleb pod względem ich trwałości. I tak, δASI dla pierwszej pary (29,5% - dla 10 cykli nawilżania - osuszania, 38,3% dla metody przesiewania na mokro) wskazują na znacznie większą trwałość agregatów pierwszej gleby. W przypadku drugiej pary porównywanych gleb (δASI dla czarnoziemiu = 15,3%, a dla czarnej ziemi = 17,6%), trudno uznać pierwszą glebę za znacząco bardziej trwałą od drugiej, gdyż różnica między wartościami δASI (2,4%) na skali procentowej jest niewielka.

Wskaźnik jakości zmian agregacji ($qASI$)

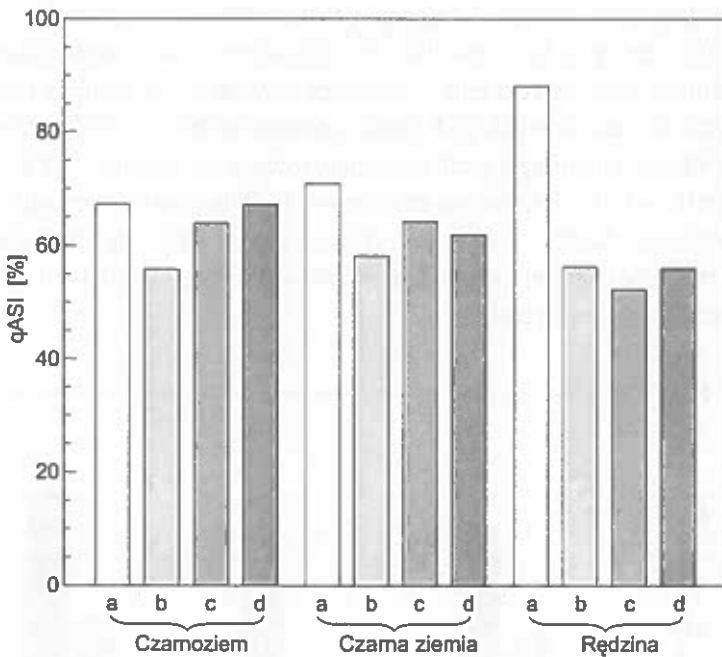
Wskaźnik ten uwzględnia usytuowanie ASI_{test} wewnątrz przedziału trwałości. Najbardziej korzystne (z punktu widzenia trwałości agregatów danej gleby) jest usytuowanie ASI_{test} pokrywające się z ASI_{max} . Takie właśnie usytuowanie ASI_{test}

oznacza, że faktyczne zmiany agregacji próbki glebowej odpowiadały możliwie najkorzystniejszym, jakie były możliwe do osiągnięcia – w ramach zakresu zmian, który determinuje para jej rozkładów częstości agregatów na wejściu i na wyjściu. Wartości q_{ASI} dla testowanych gleb przedstawiono na Rys. 3. Najbardziej korzystnymi wskaźnikami zmian agregacji charakteryzowała się rędzina ($q_{ASI} = 88,1\%$) i czarna ziemia ($q_{ASI} = 70,9\%$) po deszczowaniu. Dla pozostałych gleb q_{ASI} był nie mniejszy niż $52,3\%$, czyli ich ASI_{test} znajdowały się powyżej środka przedziału trwałości. Zatem względną jakość zmian agregacji tych gleb należy uznać za nieco lepszą od średniej.



Rys. 2. Wartości względnego zakresu trwałości agregatów (δASI) [%] dla czarnoziemu, czarnej ziemi i rędziny (wodoodporność agregatów oznaczono metodami: a - deszczowania, b - 1 cyklu nawilżania-osuszania, c - 10 cykli nawilżania-osuszania, d - przesiewania na mokro).

Fig. 2. Values of relative range of aggregate stability (δASI) [%] for chernozem, black earth and rendzina (water stability of aggregates was determined by methods: a – rainfall, b – 1 cycle of wetting-drying, c – 10 cycles of wetting-drying, and d – wet sieving).



Rys. 3. Wartości wskaźnika jakości zmian agregacji (qASI) [%] dla czarnoziemu, czarnej ziemi i rędziny, (wodoodporność agregatów oznaczono metodami: a - deszczowania, b - 1 cyklu nawilżania -osuszania, c - 10 cykli nawilżania osuszania, d - przesiewania na mokro).

Fig.3. Values of quality change aggregation indices (qASI) [%] for chernozem, black earth and rendzina (water stability of aggregates was determined by methods: a – rainfall, b - 1 cycle of wetting-drying, c – 10 cycles of wetting-drying, and d – wet sieving).

WNIOSKI

Na podstawie rozważań teoretycznych i uzyskanych wyników eksperymentalnych można stwierdzić, że:

1. Dla przyjętego w pracy kryterium trwałości agregatów i rozpatrywanego modelu jednokierunkowych zmian agregacji można wyznaczyć ekstremalne tablice przejścia i odpowiadające im ekstremalne wartości wskaźnika trwałości agregatów glebowych (ASI_{max} i ASI_{min})
2. Ekstremalne tablice przejścia pozwalają ocenić zakresy częstości agregatów trwałych i tych, które mogą ulegać rozpadowi.
3. Przedział trwałości $\langle ASI_{max}; ASI_{min} \rangle$ jest miarą zmienności agregacji gleby. Przedział ten, to przedział obustronnie domknięty, którego końcami są

- ekstremalne wartości wskaźnika trwałości testowanej próbki glebowej. Wartość ASI_{test} należy do przedziału trwałości.
- Wykorzystując ekstremalne wartości wskaźnika trwałości oraz jego faktyczną wartość (ASI_{test}) można porównywać trwałość agregatów różnych gleb lub trwałość agregatów określonej gleby w trakcie badanego procesu.
 - Korzystając z wyżej wymienionych wielkości, określono parę innych wskaźników pomocniczych (δASI , $qASI$), które w pełni charakteryzują różne aspekty zmian jakości badanego materiału.
 - W ograniczonym zakresie można proponowaną metodę stosować również wówczas, gdy dane są jedynie rozkłady częstości w klasach na wejściu i na wyjściu, czyli przed i po działaniu określonego czynnika.

PIŚMIENNICTWO

- De Boodt M. (Ed.): West-European Methods for Soil Structure Determinations. Faculty of Agricultural Sciences of Ghent University Press, Ghent, 1967.
- Bryan R.B.: The efficiency of aggregation indices in the comparison of some England and Canadian soils. *J. Soil Sci.*, 22(2), 166-178, 1971.
- Dębicki R., Pawłowski M., Rejman J., Link M.: A new approach to the design of a nozzle-type rainfall simulator. *Int. Agrophysics*, 7, 197-201, 1993.
- Harris R.F., Chesters G., Allen O.N.: Dynamics of soil aggregation. *Adv. Agron.*, 18, 107-160, 1965.
- Hillel D.: Environmental Soil Physics. Academic Press, London, 101-125, 1998.
- Hillier F.S., Lieberman G.J.: Introduction to Operations Research. Mc-Graw-Hill, New York, 1986.
- Kaczynskij N.A.: Struktura poczw. MGU, Moskwa, 1963.
- Niewczas J., Witkowska-Walczak B.: Index of aggregates stability as linear function value of transition matrix elements. *Soil & Till. Res.*, 70/2, 121-130, 2003.
- Niewczas J., Witkowska-Walczak B.: Use of algorithm simplex for aggregates stability index (ASI) calculation. *Int. Agrophysics*, 2003 (w druku).
- Savinov N.O.: Fizika poczw. Sielchozgiz, Moskwa, 1936.
- Walczak R., Witkowska B.: Metody badania i sposoby opisywania agregacji gleb. *Problemy Agrofizyki*, 19, 5-52, 1976.
- Walczak R., Witkowska-Walczak B.: Effect of wetting-drying cycles on the aggregation of soil. *Roczniki Gleboznawcze*, XXXII(3), 37-44, 1981.
- Yoder R.: A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agron.*, 28(5), 337-351, 1936.

SOIL AGGREGATES STABILITY INDEX (ASI) AND ITS EXTREME VALUES

J. Niewczas, B. Witkowska-Walczak

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
e-mail: niewczas@demeter.ipan.lublin.pl

Abstract. The maximum and minimum values of the soil aggregates stability index (ASI) has been presented. It enables to find the range of changes of the soil aggregates stability index for destruction changes of soil aggregation and for assumed in the paper criterion of the soil aggregation stability evaluation. On the base of ASI, determined for the tested soil, and the range of its possible changes, other indices, which characterize the relative nature of aggregate changes have been defined. The presented method of the analysis of the soil aggregation stability has been illustrated for three soils and various methods of water stability determination.

Key words: soil aggregation, stability of aggregates, transition tables.