

J. PALUCH i E. JOSZTOWA

ZASTOSOWANIE NIEKTÓRYCH TESTÓW ROŚLINNYCH
DO OKREŚLANIA TOKSYCZNOŚCI
LUB MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ROLNICZEGO
ŚCIEKÓW ZAWIERAJĄCYCH FENOLE

1. Wstęp

Znajomość stopnia szkodliwości ścieków oraz poszczególnych ich składników w stosunku do biocenozy wodnej może oddać duże usługi przy rozwiązywaniu problemu ochrony wód powierzchniowych przed zanieczyszczeniem.

Poglądy na stosowanie biologicznych testów w badaniu wód są dotychczas różne. Nie ulega jednak wątpliwości, że nawet najdokładniejsza analiza chemiczna nie może całkowicie zastąpić biologicznej oceny czystości wody. Wiadomo też, że przy występowaniu mieszanin substancji toksycznych, ich działanie na organizmy żywe zmienia się w porównaniu z działaniem oddzielnych składników.

Normowanie dopuszczalnych stężeń substancji toksycznych lub szkodliwych, wpuszczanych ze ściekami do odbiorników, organicza się niekiedy tylko do podania stężeń poszczególnych związków częściej spotykanych. Istnieje zaś wiele związków, których stężenia dopuszczalne nie są jeszcze ustalone. Ustalenie dopuszczalnych w wodzie stężeń substancji toksycznych jest trudne i skomplikowane, gdyż działanie takich substancji wzmacnia się lub osłabia w zależności od wielu czynników ubocznych. Niektóre wreszcie składniki ścieków przemysłowych dopiero po zmieszaniu się z wodą odbiornika w wyniku zachodzących reakcji nabierają cech trujących lub szkodliwych (7).

Jednoznaczne określenie wpływu, jaki wywierają różne substancje występujące w ściekach w najróżniejszych kombinacjach zanieczyszczeń, na organizmy zwierzęce i roślinne oraz na plankton i drobnoustroje biorące czynny udział w procesie samooczyszczania się wód, jest bardzo trudne, kłopotliwe i praktycznie nie rozwiążane.

Badania nad wpływem substancji chemicznych oraz ścieków przemysłowych na różne organizmy wodne zostały zapoczątkowane jeszcze w ubiegłym stuleciu. Jak podają Cabejszek i współpracownicy (3), pierwsze doświadczenia w tym zakresie przeprowadził Emmer około 1805 roku. Wyniki jego prac wraz z własnymi spostrzeżeniami w 1847 r. opublikował Nunneley. W 1863 r. badania te kontynuowali Penny i Adams oraz w 1885 r. Weigelt. W latach późniejszych, a szczególnie w ostatnim trzydziestoleciu, badania te prowadzi się już na szeroką skalę.

Dotychczas większość badań przeprowadzono na rybach a stosunkowo niewiele prac wykonano na innych organizmach wodnych - zwierzęcych i roślinnych [Fritzgerald (6), B. i Ż. Cyrusowie (19), Viehl (3), Seibold (3), Anderson (11), Prat (16), Hanuška (9), Bringmann (4), Kühn (4), Wuhrman i Worker (21), Leslie, Dwight, Miller i Redman (12) i wiele innych]. Również liczne badania w tym zakresie prowadzono w Związku Radzieckim.

W Polsce badaniami nad szkodliwością niektórych substancji chemicznych przy zastosowaniu *Daphnia magna* zajmowali się m.in. Just i Szniolis (3) oraz Cabejszek i Just (2). Przeprowadzono również szereg badań na rybach jako materiały testowym (Marczek i Zieliński 13, 14). Także Solewski i Łysak (18) badali laboratoryjnie szkodliwość furfurołu dla organizmów wodnych, używając do doświadczeń: dafnie (*Daphnia magna*), rureczniki (*Tubifex tubifex*) oraz niektóre ryby. Ponadto badano wpływ furfurołu na kiełkowanie nasion rzeżuchy łąkowej, opierając się na metodzie Prata (16).

2. Badania własne

2.1. Metodyka badań

Praca niniejsza miała na celu zbadanie, czy różne fenole, a w dalszej kolejności ścieki zawierające fenole w dużych ilościach, dochodzących do kilkuset mg/l, są szkodliwe dla roślin i przy jakim stężeniu.

W pracy tej postanowiono zastosować metodę Prata (16), jako dającą dla tego celu najbardziej przybliżone wyniki. Metoda ta polega na obserwacji i ilościowym ujęciu wpływu różnych substancji na kiełkowanie nasion i wzrost roślin testowych.

Badania zdolności kiełkowania i wzrostu roślin przeprowadzono na nasionach maku, kapusty, gorczycy i kukurydzy.

Do tego celu użyto substancje chemiczne najczęściej występujące w ściekach koksochemicznych: fenol, krezol oraz ich mieszaninę, odpowiadającą przeciętnemu składowi ścieków koksochemicznych (1) tj. 60% fenolu, 39,5 % m-krezolu oraz 0,5% pirokatechniny, jako przedstawiciela fenoli wielowodorotlenowych. Do badań zastosowano roztwory podanych związków o stężeniu 100, 200 i 500 mg/l. Równolegle z każdą serią prób jako testy kontrolne hodowano rośliny na wodzie destylowanej. Dla porównania wyników wykonano także pomiary roślin wyhodowanych na wodzie z zanieczyszczonej rzeki Kłodnicy (dopływ Odry).

Na wstępie należało określić, czy użyty fenol i m-krezol nie będą się rozkładać w warunkach, w jakich będzie się prowadzić kiełkowanie i wzrost roślin. W tym celu naturalny rozkład fenoli badano na roztworach o stężeniu 200 i 500 mg/l fenolu lub m-krezolu w ciągu 7 dni. Fenole oznaczano metodą bromową. Stwierdzono, że w ciągu 7 dni tj. w okresie przewidzianym na rozwój testów roślinnych (Prat 16) i w takich samych warunkach, stężenie fenolu i m-krezolu nie ulega zmianom, które można by uchwycić analitycznie przy pomocy metody bromowania. Wyniki te są zgodne z wynikami podanymi przez Hermanowicza i Czarnodolową (10).

Właściwe badania na testach roślinnych przeprowadzono według metodyki Prata (16) z zastosowaniem modyfikacji wprowadzonej przez Hanuškę (9). Do tego celu użyto nasion maku (*Papaver somniferum*), gorczycy białej (*Sinapis alba*), kapusty białej (*Brassica oleracea*) oraz końskiego zębu (*Zea mays*) otrzymanych z Wojewódzkiej Stacji Oceny Nasion w Katowicach.

Wzrost maku, kapusty i gorczycy badano w tygielkach z piaskiem. Do tego celu zastosowano popękane tygielki porcelanowe, a nie jak podaje Hanuška (9) szklane rurki Durhama. Zmiana ta daje duże korzyści: szczeliny w dnie tygla zapewniały równomierne zasysanie roztworu lub wody przez piasek i stałą wilgotność piasku przez cały okres obserwacji, co przy wzroście roślin jest bardzo ważne.

Rzeczny piasek kwarcowy, pod dokładnym przepłukaniem roztworem mieszaniny chromowej i wodą, wyprażono i przesiano przez sito o średnicy oczek 1 mm. Suchy piasek wsypywano do tygielków o wymiarach 50 x 40 mm. W wymytych i zdezynfekowanych płytkach Petriego o średnicy 18 cm umieszczano po 5 tygielków z piaskiem (rys.1). Do płytek nalewano badane roztwory w takiej ilości, aby warstwa wody wynosiła około 1 cm, nawilżano piasek w tyglach i układano w każdym tygiel-

ku po 20 nasion. Aby utrzymać stałą wilgotność powietrza nad nasionami i roztworami, płytki nakrywano szklanymi przykrywkami. Próby pozostawiano na świetle dziennym w temperaturze pokojowej (5) na 7 dni. Codziennie w tym czasie badano kiełkowanie nasion.

Badania nad kukurydzą (koński ząb) wykonano w płytkach Petriego o średnicy 18 cm. Do wybranych płytek o możliwie równym dnie, starannie umytych, układano po 15 sztuk nasion bezpośrednio na dnie, zachowując możliwie duże odstępy między ziarnami. Następnie zalewano je badanymi roztworami w ilości po około 15 ml tak, aby ziarno było ledwie zakryte. Płytki nakrywano szklanymi przykrywkami, aby zapobiec parowaniu roztworów i przez cały czas obserwacji zachować możliwie wysoką wilgotność powietrza nad cieczą. Płytki z nasionami wstawiano na 7 dni do ciemnego termostatu o temperaturze 28 - 30°. Codziennie sprawdzano kiełkowanie nasion, a 7-go dnia mierzono długość korzonków i kiełków. Ponieważ w temperaturze 30° intensywne parowanie może powodować zmianę stężenia badanych roztworów, dla pewności co drugi dzień zmieniano roztwory w płytkach.

Po zakończeniu hodowli mierzono długość wyrosniętych korzonków i kiełków. Kiełki i korzonki maku i kapusty mierzono po 7-miu dniach, a gorzycy po 6-ciu dniach. Pomiar długości korzonków i kiełków wykonywano z dokładnością $\pm 0,5$ mm.

Współczynniki przyrostu korzeni (PK₁) i współczynniki przyrostu kiełków (PK₂) obliczano według Prata następująco: z pomierzonych długości korzonków i kiełków obliczano średnie ich długości, dzieląc sumę długości przez ilość nasion wykiełkowanych. Dzieląc te średnie przez średnią długość korzonka i kiełka roślin kontrolnych, otrzymano współczynniki PK₁ i PK₂.

Średnia arytmetyczna wszystkich wartości poszczególnych elementów próbki jest najlepszym przybliżeniem prawdziwej wartości średniej arytmetycznej populacji generalnej. Znajac średnią arytmetyczną i średni błąd średniej arytmetycznej obliczano przedział ufności z prawdopodobieństwem P = 95%. To obliczenie statystyczne wykonano wg ogólnie przyjętej metodyki (Gorzela 8).

3. Omówienie wyników

Mak. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że wzrost korzonków i kiełków maku w roztworach fenolu jest zbliżony do siebie. Tak np. średnia długość korzonków i kieł-

ków traktowanych roztworem fenolu oraz obliczone współczynniki PK₁ i PK₂ (tab. 1, rys. 2 i 3) wykazują, że fenol jest jednakowo toksyczny dla korzeni i kiełków we wszystkich badanych stężeniach.

Natomiast m-krezol znacznie słabiej od fenolu obniża wzrost korzonków i kiełków. Przy stężeniu 100 mg/l działa silniej na kiełki niż na korzonki, jednak w stężeniach wyższych od 100 mg/l kiełki, prawdopodobnie przez to, że w miarę wzrostu bezpośrednio nie stykały się z roztworem krezolu - rosły dużo lepiej od korzeni.

Działanie mieszaniny fenolu, m-krezolu i pirokatechiny okazało się silniejsze od działania roztworów samego fenolu i samego m-krezolu przy tych samych stężeniach. Korzenie maku w roztworze 100 mg/l mieszaniny (rys. 8, tab. 2) rosły w sposób zbliżony jak przy fenolu, przy czym kiełki były bardziej odporne od korzonków. Jednak stężenie 200 mg/l prawie całkowicie wstrzymało ich wzrost, przy czym najpierw zniknęły kiełki. Zatem toksyczność mieszaniny związków fenolowych w stosunku do maku jest większa niż poszczególnych związków, co jest na ogół znanym zjawiskiem. Wydaje się, że przy dalszych badaniach należałoby przyjąć jako górną granicę stężenie 100 mg/l mieszaniny różnych fenoli. Już bowiem przy tym stężeniu wzrost korzeni i kiełków maku jest obniżony o około 65%, a zdolność kiełkowania o 33%, co dla praktyki rolniczej posiada duże ujemne znaczenie (tab. 1).

Koński zęb. Na podstawie wyników otrzymanych u końskiego zębu, nie można stwierdzić takich prawidłowości, jak u maku. Fenol (rys. 4) działał hamująco na wzrost kiełków końskiego zębu. Natomiast korzonki końskiego zębu (rys. 9) w roztworach 100 mg/l i 200 mg/l fenolu rosły dużo lepiej niż w próbie kontrolnej.

Roztwory m-krezolu bardziej równomiernie hamowały wzrost korzeni, które rosły gorzej od kiełków. W obu przypadkach wyraźnie ujemny wpływ zaznaczał się dopiero powyżej stężenia 100 mg/l m-krezolu. Należy podkreślić, że w roztworze 500 mg/l wykiełkowało tylko 25,4% nasion, jednak wzrost ich nie został zahamowany i średnia długość kiełków była większa niż przy stężeniu 200 mg/l m-krezolu (tab. 1, 2 rys. 8).

Najsłabiej hamowała wzrost korzonków i kiełków końskiego zębu mieszanina związków fenolowych (tab. 1, 2, rys. 5, 9). Kiełki rosły gorzej w roztworze 100 i 200 mg/l mieszaniny niż w próbie kontrolnej, przy czym działanie stężenia 200 mg/l prawie nie różniło się od działania stężenia 100 mg/l. Natomiast lepiej rosły korzonki w roztworze zawierającym mieszaninę fenoli, niż w próbie kontrolnej. Przy

stężeniu 200 mg/l mieszaniny związków fenolowych średnia długość korzonków była mniejsza o około 2% od takiej długości w próbie kontrolnej. Stąd nasuwa się wniosek, że fenol, m-krezol i pirokatechina w mieszaninie nie wykazują w porównaniu z poszczególnymi fenolami podwyższonej toksyczności w stosunku do końskiego zębu. Wydaje się jednak celowe dalsze przebadania takiego wpływu przy użyciu innych jeszcze stężeń. Należałoby także przebadać, czy związki te nie wywierają szkodliwego wpływu na koński ząb lub kukurydzę po czasie dłuższym niż 7 dni. W próbach stwierdzono, że koński ząb rozwijał się nierównomiernie, należałoby więc skontrolować, czy nadaje się on do tego typu badań testowych.

Gorzycza. Charakter krzywych wzrostu korzonków i kiełków gorzycy w fenolu, m-krezolu i mieszaninie związków fenolowych (rys.6,7,10) jest również bardzo zbliżony do siebie. Dla fenolu, podobnie jak to miało miejsce w przypadku maku, współczynniki przyrostu prawie pokrywają się (tab.2).

Widać więc, że fenol jednakowo wstrzymuje wzrost korzonków i kiełków gorzycy. W roztworach m-krezolu kiełki gorzycy rozwijały się dużo lepiej od korzonków, które bezpośrednio były narażone na działanie krezolu. Różnica ta zacierza się dopiero w stężeniach nieco mniejszych od 500 mg/l krezolu.

Na podstawie wielkości współczynników PK₁ i PK₂ (tab.2, rys.10) i zdolności kiełkowania (tab.1) można wnioskować, że fenol, m-krezol i pirokatechina w mieszaninie wzajemnie osłabiają swą toksyczność także w stosunku do gorzycy. Odporniejsze na działanie związków fenolowych okazały się kiełki gorzycy, gdyż przy stężeniu 200 mg/l mieszaniny wzrost korzonków był zahamowany prawie o 50%. Wydaje się dlatego, że przy dalszych badaniach nad gorzycą jako graniczne stężenie należałoby przyjąć stężenie poniżej 200 mg/l związków fenolowych.

Kapusta. Wyniki otrzymane dla kapusty (tab.1, 2, rys.11), świadczą, że związkiem najmniej szkodliwym dla jej wzrostu jest m-krezol, który w stężeniach 100 i 200 mg/l wpływał nawet stymulująco na zdolność kiełkowania i wzrost korzonków. Natomiast stopień hamowania wzrostu kiełków kapusty zależał od stężenia i osiągnął maksimum przy 100 mg/l krezolu. Dopiero stężenia m-krezolu wyższe od 200 mg/l zahamowały wzrost tych roślin.

Silniej od m-krezolu na zahamowanie wzrostu kapusty wpływał fenol. Do stężenia 100 mg/l silniej osłabiał on wzrost kiełków; powyżej 100 mg/l działanie fenolu na korzonki wzrosło i przy stężeniu 200 mg/l, kiełki, mimo zahamowania, rosły lepiej od korzonków.

Podobnie jak w przypadku maku, także w stosunku do kapusty mieszanina fenolu, krezolu i pirokatechniny wzmacnia swą toksyczność. W roztworach 100 mg/l mieszaniny tych fenoli lepiej rosły korzonki niż kiełki, a dopiero przy wyższym stężeniu nastąpiła zmiana na korzyść kiełków.

Odnosnie wzrostu kapusty w związkach fenolowych nasuwa się pytanie, czy wpływ tych związków będzie się objawiał także na kapuscie hodowanej z rozsady. Wydaje się, że mimo to nasiona kapusty mogą być materiałem testowym, na podstawie którego można określić dopuszczalne stężenie związków toksycznych. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że należy tę sprawę jeszcze przebadać, przyjmując ewentualnie jako graniczne stężenie 200 mg/l krezolu i 100 mg/l fenolu oraz mieszaniny związków fenolowych. Szczególną uwagę należy zwrócić na ich wpływ na rozsadę kapusty.

Woda z rzeki Kłodnicy jest silnie zanieczyszczona ściekami przemysłowymi, głównie kokseowniczymi i zasolonymi wodami kopalnianymi. Zawiera także zawiesinę węglową, którą jednak stosunkowo łatwo można usunąć przez odstanie. Woda nie zawiera cyjanków i rodanków, natomiast wody kopalniane podnoszą jej suchą pozostałość do ponad 6000 mg/l, przy zawiesinie odsączalnej dochodzącej do 1000 mg/l.

Wyniki analiz chemicznych wody rzeki Kłodnicy, które wykazały w niej zawartość chlorków wielokrotnie wyższą od dopuszczalnej [2300 mg/l Cl przy dopuszczalnej 500 mg/l NaCl] (15) oraz obliczony współczynnik irygacji (20) stanowią wspólnie podstawę do stwierdzenia, że woda z Kłodnicy jest nieprzydatna do nawadniania upraw roślinnych. Tak znaczne zasolenie wody dyskwalifikuje ją z punktu widzenia gleboznawstwa, gdyż woda zasoliłaby nawodnioną glebę i zniszczyła jej strukturę.

Mimo wyników analiz, świadczących o nieprzydatności tej wody do nawadniania upraw roślinnych, przeprowadzono próby nad kiełkowaniem i wzrostem maku, końskiego zębu, gorczycy i kapusty. Wszystkie te rośliny po jednodniowym zahamowaniu kiełkowania dalej kiełkowały zadowolająco i rozwijały się dobrze. W ostatnim 7-mym dniu obserwacji rośliny były zdrowe, miały normalnie ubarwione kiełki i niczym nie różniły się od kontrolnych. Lepszy wzrost korzonków i kiełków końskiego zębu, kapusty i gorczycy w wodzie z Kłodnicy w porównaniu z kontrolą można wyjaśnić tym, że do kontroli używano wodę destylowaną, pozbawioną soli mineralnych. Wodę destylowaną używano jedynie dlatego, by nie komplikować obserwacji ewentualnymi zmianami składu roztworu kontrolnego. Woda z Kłodnicy zawierała pewne substancje biogenne, których

roślinom brakowało w wodzie destylowanej. Wydaje się, że dlatego działa ona stymulująco na wzrost większości badanych nasion, lecz stymulacja ta jest względna, gdyż odnosi się do prób kontrolnych hodowanych na wodzie destylowanej. Jedynie mak, który spośród zastosowanych roślin jest najczulszym testem, rozwinął się lepiej na wodzie destylowanej.

Na podstawie przedstawionych w skrócie wyników badań wiadać, że zastosowana metoda Prata (16) jest metodą, której wyniki mogą służyć za podstawę do określania toksyczności substancji zawartych w ściekach lub ich wpływu przy nawadnianiu na rozwój roślin uprawnych. Natomiast metody oceny wpływu tych substancji na glebę należy opierać na wynikach analiz chemicznych. Z wyników otrzymanych dla wody rzeki Kłodnicy widać, że przy projektowaniu nawadniania upraw roślin ściekami, należy posiadać wyniki obu rodzajów metod. W przypadku wody z Kłodnicy różnica wyników między metodą testów roślinnych i metodami analitycznymi jest charakterystyczna i świadczy o konieczności stosowania obu metod łącznie, jeśli chodzi o pełne zobrazowanie możliwości stosowania danych ścieków do nawadniania.

Metoda Prata posiada wady i zalety. Jedną z podstawowych zalet jest taniosc materiału doświadczalnego, łatwosc jego przechowywania i fakt, że nasiona są przez cały rok do dyspozycji. Dalszą niewątpliwą zaletą tej metody jest prostota odczytów i obliczeń. Po 24 godzinach otrzymujemy przybliżoną orientację co do wpływu danego związku na zdolność kiełkowania. W przypadku niepewności wyników lub zniszczenia prób, obserwację można bez trudności szybko i tanio powtórzyć.

Tego typu badania testowe można by stosować także do bieżącej kontroli jakości wody lub ścieków. Jak długo badanie kiełkowania i wzrostu daje zgodne wyniki, można założyć, że jakość wody lub ścieków nie ulega istotnej zmianie. Zmiana wielkości współczynników świadczy o zmianie własności wody i wówczas badania należy uzupełnić innymi.

Do podstawowych wad metody Prata należy zke często kiełkowanie i pleśnienie kiełkujących nasion oraz nieprawidłowy wzrost korzeni. Czasami korzenie rosną krzywo, są poskręcane, a po kilku dniach obumierają i gniją. Czasami w wysokich stężeniach badanych substancji wykiełkuje znikomym procent roślin, jednak wzrost skiełkowanych roślin jest bardzo intensywny, co w efekcie daje fałszywy pogląd na wyniki. Również zdarzyć się może, jak to miało miejsce w przypadku wody z rzeki Kłodnicy, że rośliny rosną dobrze w wodzie, która wprawdzie nie zawiera substancji dla nich toksycznych,

lecz ze względu na stopień zasolenia nie nadaje się do nawadniania gleby. Te odchylenia, a także różne zmiany form korzonka, jak zgrubienie, skrzywienie - nie są wyrażone w końcowym, liczbowym obliczeniu, mimo że dla oceny są one ważne. Można je dodać do wskaźnika jedynie w formie uwagi.

Wadą próby kiełkowania i wzrostu jest także to, że otrzymanie ostatecznego wyniku wymaga kilku dni. Przez ten czas prawie we wszystkich przypadkach skład ścieków ulega zmianom, a przede wszystkim może się zmienić ich pH i toksyczność.

Należy również brać pod uwagę wpływ samego ziarna na środowisko, w którym kiełkuje. Z pękniętych nasion dostaje się do roztworów skrobia, która ewentualnie rozkładając się może zmienić charakter środowiska. Wyraźnie można zaobserwować to przy kiełkowaniu końskiego zębu na płytkach Petriego.

Prat (16) zwraca uwagę na możliwość wykorzystania testów biologicznych nie tylko do analiz ilościowych ale również do oznaczeń jakościowych. Niektóre rośliny są bardzo czułe na pewne związki i reagują w sposób charakterystyczny. Na przykład ziarna maku (*Papaver somniferum*) bardzo szybko i intensywnie ciemniały nawet w najmniejszych stężeniach fenolu i krezolu, pokrywały się siatką czarnych żeberek i czerniały.

Dlatego też wprowadzenie do praktyki kontrolnej takiej analizy biologicznej wymagałoby dalszych badań, w wyniku których należałoby ustalić standartowy materiał i standartowe metody.

4. Zestawienie wyników i wnioski

1. Przebadano stopień rozkładu fenolu i m-krezolu przy stężeniach 200 i 500 mg/l w temperaturze 18-20° w świetle dziennym w ciągu 7-miu dni. Stężenie fenolu i m-krezolu w wymienionych warunkach nie ulegało takiej zmianie, którą można by było analitycznie uchwycić przy pomocy metody bromometrycznej. Wyniki te są zgodne z wynikami Hermanowicza i Czarnodolowej (10).

Przebadano wpływ stężeń 100, 200 i 500 mg/l fenolu, m-krezolu i mieszaniny fenoli (60% fenolu, 39,5% m-krezolu i 0,5 pirokatechiny), a także wpływ wody z rzeki Kłodnicy na kiełkowanie, wzrost korzonków i kiełków maku, końskiego zębu, gorczycy i kapusty.

2. Działanie fenolu, m-krezolu i mieszaniny fenolu, m-krezolu i pirokatechiny w tych samych stężeniach jest różne dla poszczególnych roślin.

Fenol najsilniej obniża kiełkowanie nasion przez pierwszą dobę kontaktu ich z roztworem. Hamuje on wzrost i kiełkowanie maku, kapusty i gorczycy, a stężenia dopuszczalne dla maku i gorczycy są niższe od 100 mg/l fenolu, zaś dla kapusty wynoszą 100 mg/l. Fenol obniża też zdolność kiełkowania końskiego zębu, jednak wpływa stymulująco na wzrost korzonków jeszcze przy stężeniu 200 mg/l.

Krezol obniża zdolność kiełkowania i wzrost maku, końskiego zębu i gorczycy. Działanie jego na kapustę jest zmienne i zależy od stężenia. W stężeniu do 200 mg/l wpływa stymulująco na wzrost korzonków. Stężenie dopuszczalne dla kukurydzy i gorczycy wynosi do 100 mg/l m-krezolu, a dla maku poniżej 100 mg/l.

Mieszanina fenolu, m-krezolu i pirokatechiny zwiększa swą toksyczność w porównaniu z fenolem i m-krezolem w stosunku do maku i kapusty, a zmniejsza w stosunku do gorczycy. W przypadku kukurydzy mieszanina związków fenolowych osłabia wzrost kiełków; korzonki rosną lepiej niż w krezolu, a gorzej niż w fenolu. Dopuszczalne stężenie badanej mieszaniny związków fenolowych wynosi: dla maku mniej niż 100 mg/l dla gorczycy i kapusty do 100 mg/l, a dla kukurydzy do 200 mg/l.

Woda z rzeki Kłodnicy nieznacznie obniża zdolność kiełkowania wszystkich badanych roślin, przy czym wpływ ten jest najsilniejszy przez pierwszą dobę. Dla pierwszego stadium rozwoju kapusty, gorczycy i kukurydzy jest nieszkodliwa. Najmniej odporny okazał się mak, który росł gorzej w wodzie z Kłodnicy niż w próbach kontrolnych.

3. Najodporniejszy na działanie związków fenolowych był koński ząb, który w niektórych przypadkach росł lepiej w badanych roztworach, niż w próbach kontrolnych. Najczulszym testem okazał się mak, który we wszystkich przypadkach gorzej kiełkował i wyrastał.

4. Na podstawie otrzymanych wyników można przypuszczać, że do uprawy nawadnianej ściekami zawierającymi fenol w stężeniach nie przekraczających 200 mg/l nadaje się koński ząb i zapewne kukurydza. Przy mieszaninie związków fenolowych dopuszczalne stężenie będzie zależało od udziału poszczególnych fenoli w mieszaninie. Gorczyca biała i kapusta rosną dobrze jeszcze przy stężeniu 100 mg/l mieszaniny związków fenolowych i najprawdopodobniej w glebie będą również roz-

wijać się dobrze. Należałoby jednak sprawdzić, czy fenole nie będą nadawać uprawianym roślinom nieprzyjemnego smaku.

5. Z przeprowadzonych prób widać, że należałoby także przebadać rozwój poszczególnych roślin nawadnianych roztworami fenoli w pełnym ich cyklu wegetacyjnym, tak w próbach wazonowych jak i glebowych.

6. Próby testów roślinnych nie mogą być stosowane jako jedyne przy określeniu przydatności ścieków przemysłowych dla nawadniania rolniczych. Muszą być one uzupełniane wynikami badań analitycznych, a wnioski z obu rodzajów badań muszą być wyciągnięte zarówno z punktu widzenia wpływu ścieków nawadniających na rośliny jak i na glebę.

L i t e r a t u r a

1. BERNACKI K.: "Ścieki fenolowe". Bud. i Arch, W-wa, 1957.
2. CABEJSZEK J. i JUST J.: "Badania nad wpływem fenoli na biocenozę wodną przy zastosowaniu *Daphnia magna* jako wskaźnika". Roczniki PZH, X, 1,1, 1959.
3. CABEJSZEK J., ŁUCZAK J. i STASIAK M.: "Ustalenie stopnia szkodliwości różnych związków chemicznych w ściekach przemysłowych przy zastosowaniu organizmów wodnych jako wskaźników". Gaz, Woda, T.S., 50, 1959.
4. BRINGMANN G. i KÜHN R.: "Vergleichende Wasser - toxiologische Untersuchungen an Bakterien, Algen und Kleinkrebsen". Ges. Ing., 4, 115, 159.
5. DORYWALSKI J. i WOJCIECHOWICZ M.: "Metodyka oceny nasion". I.N.W.R.L., Poznań, 1949.
6. FITZGERALD G. i inni: "Studies an chemicals with selective toxicity to blue - green algae". Sew. Ind. Wastes, 24, 7, 888, 1952.
7. GOLISZEWSKI J.: "Ochrona wód powierzchniowych przed zanieczyszczeniem". Arkady, W-wa, 1958.
8. GORZELAK E.: "Metodyka opracowań statystycznych w zastosowaniu do prac badawczych w medycynie". Medycyna Pracy, 4, 329, 1951.

9. HANUŠKA L.: "Biologické metody skumania a hodnotenia vod". Sloveska Akademia Vied, Bratislava, 1956.
10. HERMANOWICZ W. i CZARNODOŁOWA H.: "Badania porównawcze nad oznaczaniem fenoli w wodzie". Gaz, Woda, T.S., 2, 60, 1958.
11. KLEIN L.: "Aspects of river pollution". Use of daphnis and other lower animals for toxicity tests". Butterweths Scientific - Publications, London, 1957.
12. LESLIE, DWIGHT, MILLER, REDMAN: "Appraisal of a chemical waste problem by fish toxicity tests", Sew. Ind. Wastes 24, 11, 1397, 1952.
13. MARCZEK E. i ZIELIŃSKI J.: "Badania nad wpływem ścieków posiarczanowych (posulfatowych) na życie ryb". Gaz, Woda, T.S., 12, 368, 1954.
14. MARCZEK E. i ZIELIŃSKI J.: "Wpływ ścieków posiarczanowych na życie ryb". Gaz, Woda, T.S., 2, 45, 1957.
15. MEINCK F. i inni.: "Industrie - Abwasser". Stuttgart, 1956.
16. PRÁT S.: "Biologicke zkousky vod". Sbornik Masarykovy Akademie. XXI, 120, 1, Praha, 1947.
17. SOBOLEWSKI W. i ŁYSAK A.: "Wpływ furfurołu na organizmy wodne". Gaz, Woda, T.S., 8, 327, 1959.
18. STARMACH K.: "Zarys hydrologii sanitarnej". Skrypt Min. Gosp. Kom., W-wa, 1957.
19. WIERZBICKI J.: "Rolnicze wykorzystanie ścieków". PWN, Wrocław, 1956.
20. WUHRMANN K. i WORKER H.: "Experimentalle Untersuchungen über die Ammoniak und Blausäurevergiftung". Schweiz. Zeitchr. f. Hydrol. 9, 216, 1948.

Die Anwendung einiger Pflanzenteste zur Bestimmung der Giftigkeit oder der Verwertbarkeit phenolhaltiger Abwasser zur landwirtschaftlichen Zwecken

Zusammenfassung

Die Wirkung von Phenol, Kresol und einer Phenolmischung (60% Phenol, 39,5% Kresol, 0,5% Pyrokatechin) in Konzentration von 100, 200 und 500 mg/l sowie auch des Flusswassers der Klodnica auf Keim- und Wurzelwachstum wurden nach der Prat-Methode (16) untersucht.

Als Testpflanzen dienten folgende Samenkörner: Mohn (Papaver somniferum), Mais (Zea mays), Senf (Sinapis alba) und Kraut (Brassica oleracea).

Gleiche Konzentration von Phenol, m-Kresol und der Phenolmischung wirken auf die einzelnen Pflanzen sehr verschieden.

Phenol wirkt am stärksten keimhemmend während der ersten Tages. Keim- und Wachstumshemmungen wurden am Mohn, Kraut und Senf festgestellt, wobei die zulässigen Konzentration für Mohn und Senf unter 100 mg/l Phenol liegen und für Kraut 100mg/l betragen. Phenol verringert auch die Keimfähigkeit von Mais, wirkt jedoch noch bei einer Konzentration von 200 mg/l stimulierend auf das Wachstum der Wurzeln.

Kresol verringert die Keimfähigkeit von Mohn, Mais und Senf. Die Wirkung auf Kraut ist verschieden und ist von der Konzentration abhängig. In Konzentrationen von 200 mg/l Kresol wirkt ebenfalls stimulierend auf das Wurzelwachstum. Die zulässigen Werte betragen für Mais und Senf 100 mg/l Kresol, liegen aber für Mohn unter 100 mg/l.

Das aus Phenol, m-Kresol und Pyrokatechin bestehende Gemisch weist im Vergleich mit Phenol und Kresol allein eine erhöhte Giftigkeit gegen Mohn und Kraut auf, verringert sie jedoch gegenüber Senf. Die Phenolmischung schwächt das Keimwachstum von Mais, wobei jedoch die Wurzeln besser als in der Kresollösung und schlechter als in der Phenollösung wachsen. Die zulässigen Höchstwerte betragen für Mohn weniger als 100 mg/l, für Senf und Kraut 100 mg/l, für Mais bis 200 mg/l dieses Phenolgemisches.

Das Flusswasser der Klodnica verringert die Keimfähigkeit aller untersuchten Pflanzen nur geringfügig. Diese Wirkung ist am stärksten während des ersten Tages. Für das erste Entwicklungsstadium von Kraut, Senf und Mais lies sich keinerlei Wirkung feststellen. Die kleinste Widerstandsfähigkeit zeigte Mohn der im Flusswasser schlechter wuchs als in der Kontrollproben.

Die grösste Widerstandsfähigkeit gegen Phenolverbindungen zeigte Mais, der in der untersuchten Lösungen besser wuchs als in der Kontrollproben. Als empfindlichste Testpflanze muss Mohn angesehen werden, da in allen Fällen schlechteres Keimen und Wachsen festgestellt wurden.

Auf Grund der erhaltenen Ergebnisse kann angenommen werden, dass zum Anbau auf Boden die mit phenolhaltigen Abwässern in Konzentrationen bis zu 200 mg/l bewässert werden sich Mais eignet. Bei Phenolgemischen wird die zulässige Konzentration vom Anteil der einzelnen Phenolverbindungen abhängen. Senf und Kraut wachsen noch gut bei 100 mg/l Phenolmischung und werden höchstwahrscheinlich auch im Boden gutes Wachstum aufweisen. Es bleibt noch zur untersuchen ob nicht eine Geruchsbeeinträchtigung entwickelter Pflanzen durch Phenol stattfindet.

Aus den durchgeführten untersuchungen ergibt sich die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen der einzelnen Pflanzen während der ganzen Entwicklungszeit und zwar in Lösung - wie auch die Bodenproben.

Die Pflanzenproben können nicht als ausschliesliche Bestimmung der Abwasserbrauchbarkeit zu Bewässerungszwecken gelten. Sie müssen durch analitische Untersuchungen ergänzt werden und Folgerungen aus beiden Untersuchungsarten müssen sowohl im Hinblick der Wirkung auf die Pflanzen wie auch auf den Boden durchgeführt werden.

Kiełkowanie w % nasion w roztworach związków fenoli

Tablica 1

Hoślina testowa	związek fenol stęż. ^{x)} /dni	fenol							m - krezol							Mieszanka fenoli						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Mak	0,0 mg/l	76	91	94	94	94	94	94	83	92	94	95	95	95	95	79	87	92	93	94	95	95
	100 mg/l	29	75	87	89	89	90	90	60	78	82	87	89	90	90	0	27	58	71	75	77	77
	200 mg/l	5	37	47	57	69	75	80	10	23	37	52	70	76	78	0	0	4	13	31	49	58
	500 mg/l	0	8	10	11	13	13	20	0	0	0	0	0	0	9	-	-	-	-	-	-	-
Gorzycza	0,0 mg/l	84	91	94	96	97	97		58	94	96	96	97	98		73	91	98	99	99	99	
	100 mg/l	81	90	91	93	97	97		38	73	77	82	83	86		-	-	-	-	-	-	
	200 mg/l	43	77	81	86	87	88		33	71	78	85	85	85		48	86	97	98	98	98	
	500 mg/l	3	3	3	3	3	3		2	15	21	22	26	37		-	-	-	-	-	-	
Kozłki sąb	0,0 mg/l	23	85	90	90	92	95	96	25	81	85	89	89	91	91	25	81	85	89	89	91	91
	100 mg/l	18	83	88	88	88	88	88	30	74	77	79	79	79	79	23	73	78	80	82	82	82
	200 mg/l	17	84	88	88	88	88	88	27	59	75	75	75	75	75	23	70	70	78	79	79	81
	500 mg/l	17	68	76	76	76	76	76	25	22	22	24	24	24	25	-	-	-	-	-	-	-
Kapuśta	0,0 mg/l	10	31	67	73	77	83	83	11	53	66	75	77	80	81	0	36	53	60	69	69	70
	100 mg/l	6	20	59	73	80	83	83	7	52	60	70	76	78	78	0	11	36	57	72	80	86
	200 mg/l	3	11	44	60	64	68	68	12	56	70	82	87	89	89	1	22	35	41	45	49	58
	500 mg/l	0	7	28	54	60	65	65	0	18	44	58	67	74	74	-	-	-	-	-	-	-

x) Stężenie 0 mg/l oznacza próbę kontrolną

Współczynniki korzeni (PK_T) i przyrostu kiełków (PK_Z)

Związek	Test	PK_T			PK_Z		
		100 mg/l	200 mg/l	500 mg/l	100 mg/l	200 mg/l	500 mg/l
Fenol	Mak	0,363	0,304	0,000	0,362	0,327	0,000
	Gorczyca	0,657	0,232	0,000	0,642	0,222	0,000
	Kapusta	0,934	0,662	0,135	0,894	0,766	0,382
	Koński ząb	1,931	1,692	0,452	0,855	0,747	0,483
m-krezol	Mak	0,625	0,569	0,278	0,693	0,424	0,138
	Gorczyca	0,467	0,257	0,029	0,917	0,545	0,000
	Kapusta	1,008	1,019	0,688	0,806	0,875	0,901
	Koński ząb	0,933	0,612	0,122	0,985	0,631	0,726
mieszanina: 60% fenolu, 39,5% krezolu, 0,5% pirokatechiny	Mak	0,343	0,113		0,375	0,070	
	Gorczyca	-	0,555		-	0,891	
	Kapusta	0,777	0,443		0,695	0,572	
	Koński ząb	1,428	0,983		0,897	0,876	
woda z rzeki Kłodnicy	Mak	0,771			0,695		
	Kapusta	0,956			1,060		
	Gorczyca	1,107			0,898		
	Koński ząb	1,864			1,082		

Wpływ związków fenolowych na kiełkowanie i wzrost roślin

Związek \ Test	M a k		Kapusta		Gorczyca		Konski ząb	
	zdolność kiełkow.	wzrost	zdolność kiełkow.	wzrost	zdolność kiełkow.	wzrost	zdolność kiełkow.	wzrost
fenol	-l < k	- > k	- r	- > k	-r < k	korzenie - < k kiełki->k	- r	korzonki + kiełki -
m-krezol	-r	-	- l		- > f r	-	- r	-
mieszanina fenolu	-l > f > k	- > f > k	-	- > f > k	- l	- < f < k	- r	korzonki + <k<f kiełki -
Woda z rzeki Kłodnicy	- l	korzonki - kiełki -	- l	korzonki - kiełki -	- l	korzonki + kiełki -	- l	korzonki + kiełki +

Objaśnienie: - hamuje rozwój

+ stymuluje rozwój

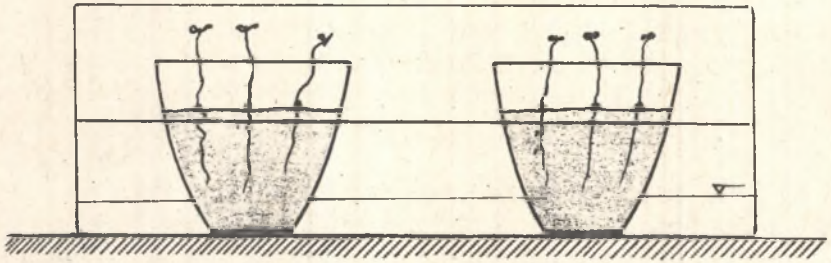
l związek działa najsilniej pierwszego dnia

r działanie równomierne przez 7 dni

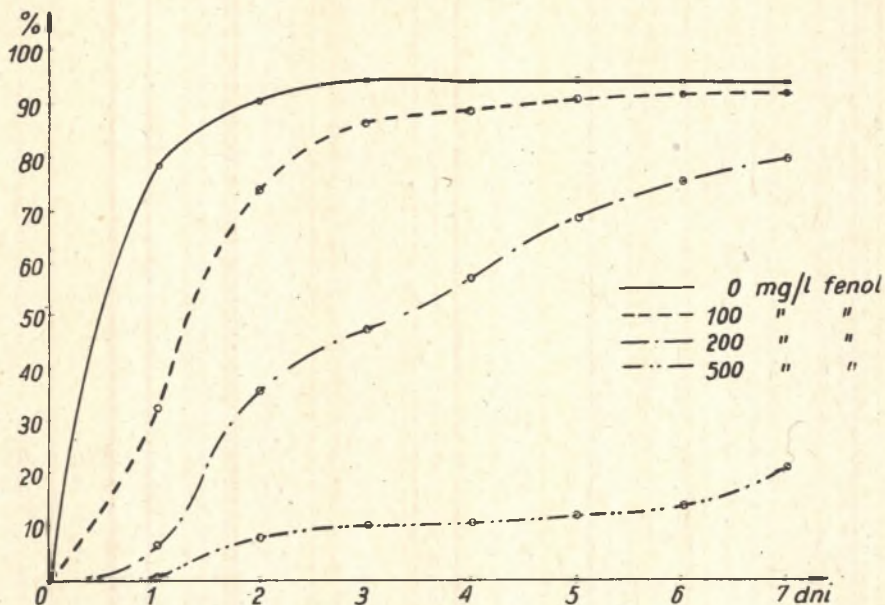
> k hamuje wzrost silniej od krezolu

f fenol

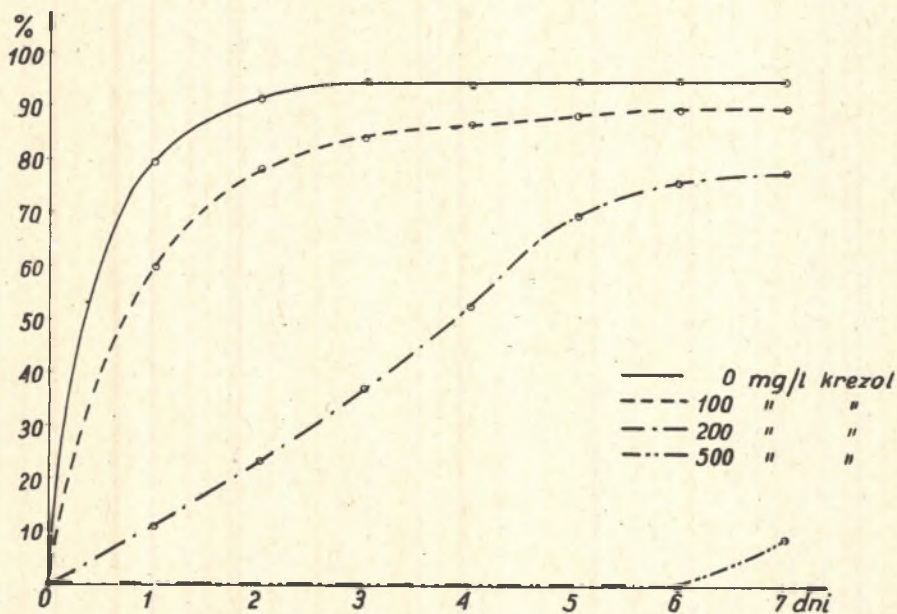
k m-krezol



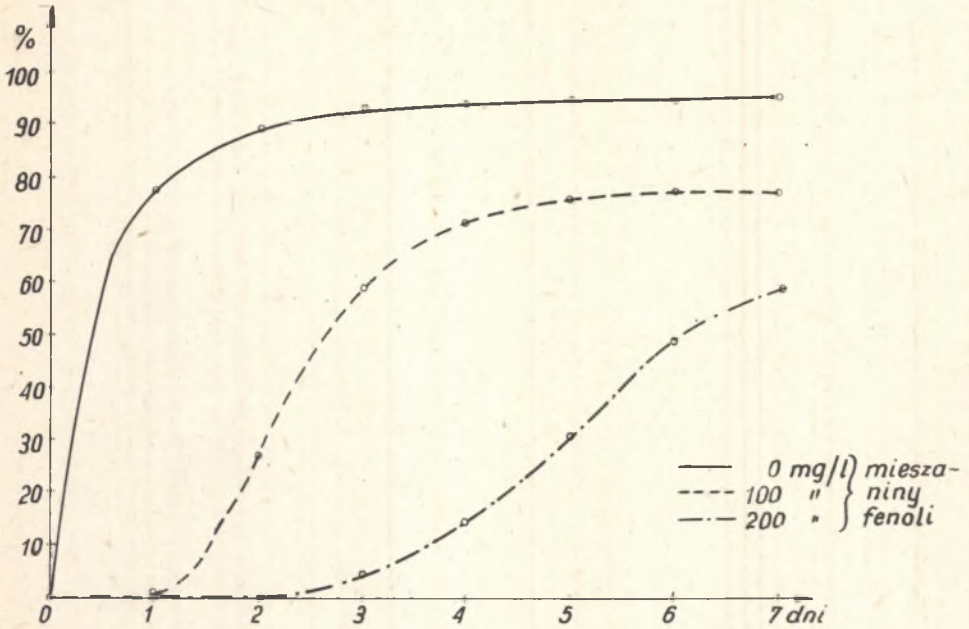
Rys.1. Kiełkowanie nasion w tyglach porcelanowych i płytce Petriego



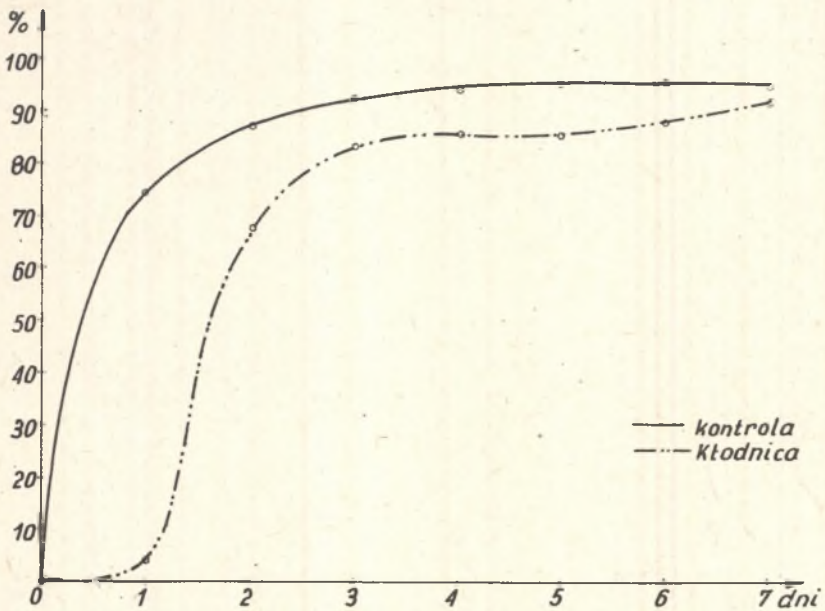
Zdolność kiełkowania maku w roztworach fenolu



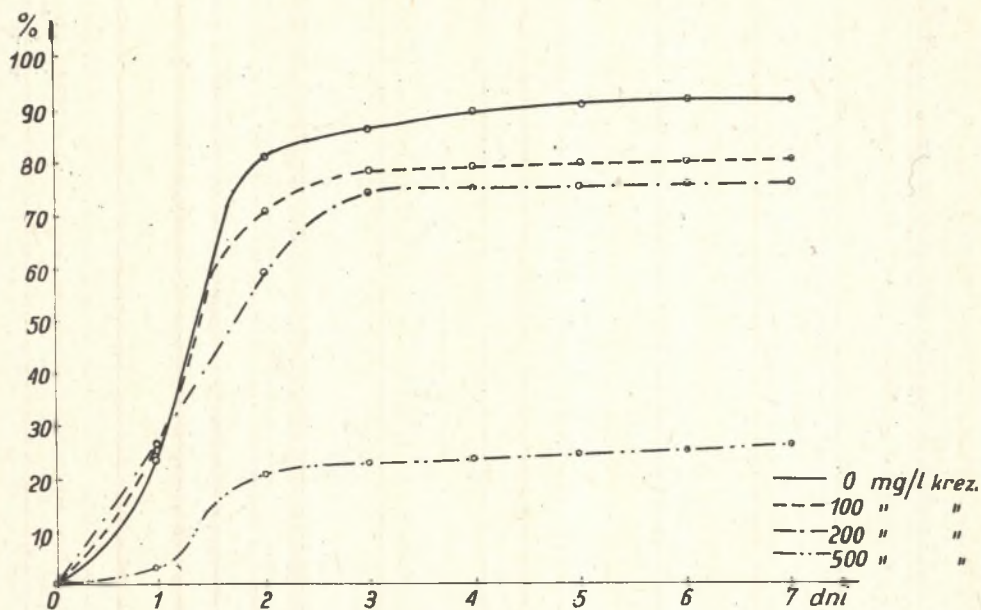
Zdolność kiełkowania maku w roztworach krezolu



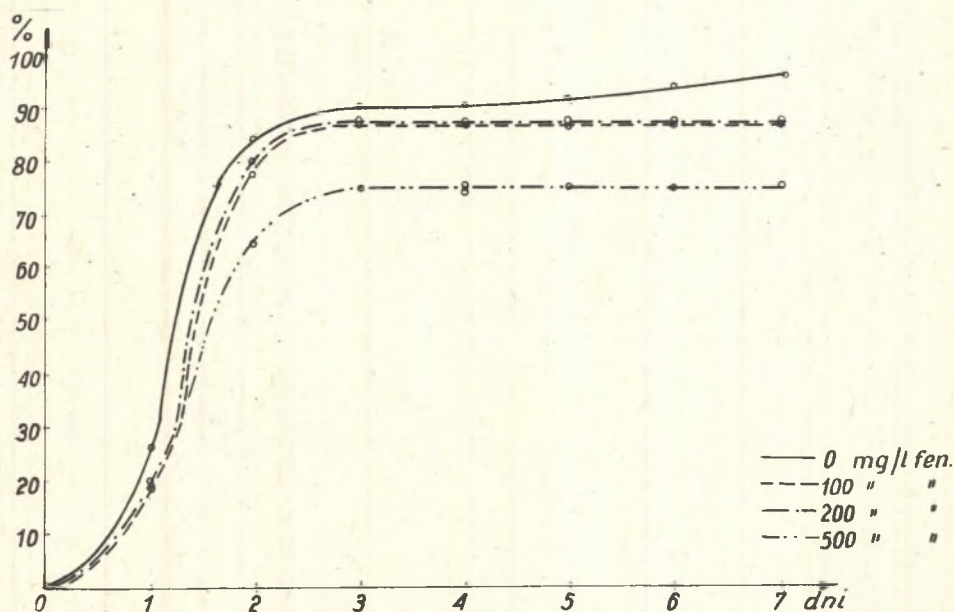
Zdolność kiełkowania maku w roztworach mieszaniny związków fenolowych



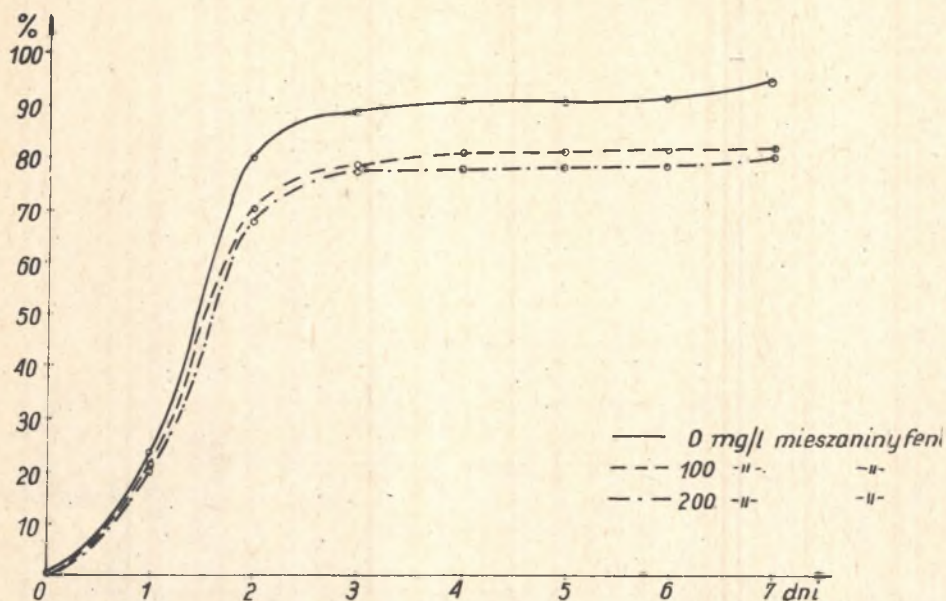
Zdolność kiełkowania maku w wodzie z rz. Kłodnicy



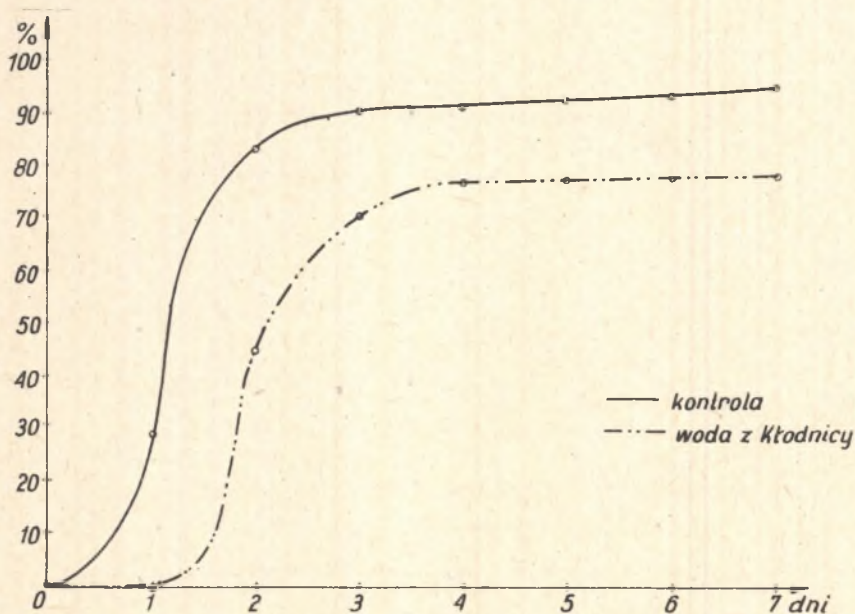
Zdolność kiełkowania kukurydzy w roztworach krezolu



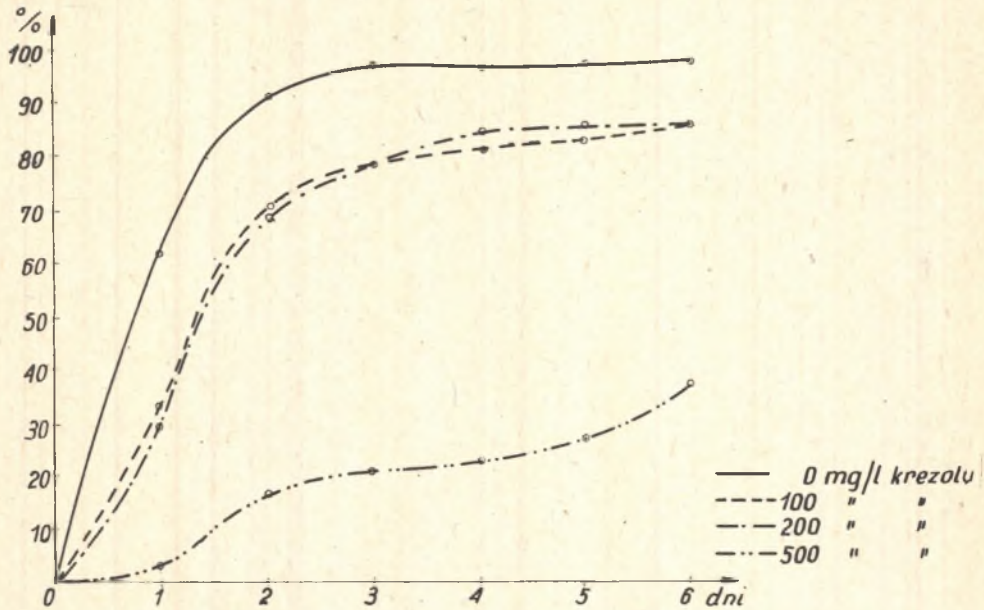
Zdolność kiełkowania kukurydzy w roztworach fenolu



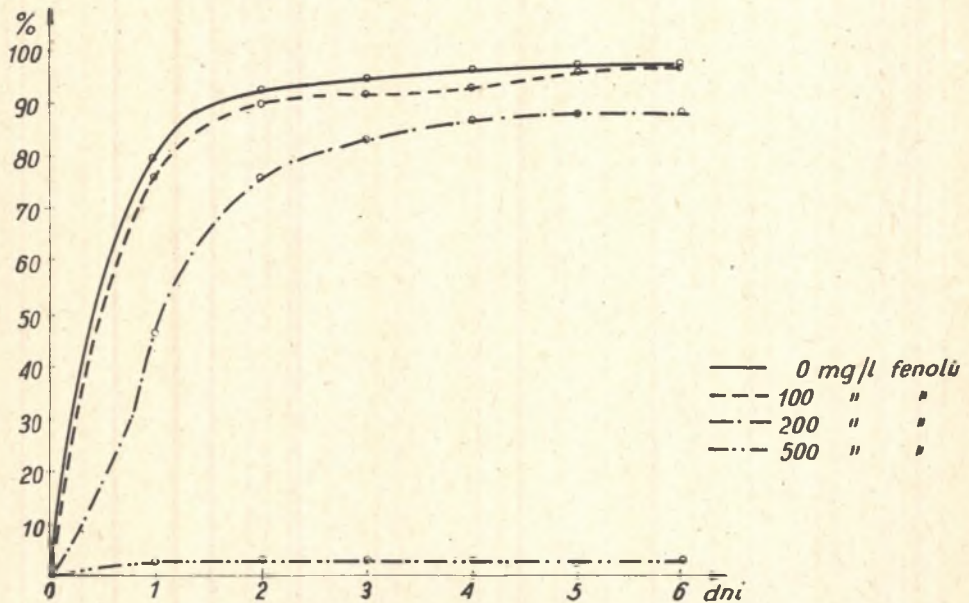
Zdolność kiełkowania kukurydzy w roztworach mieszanki związków fenolowych



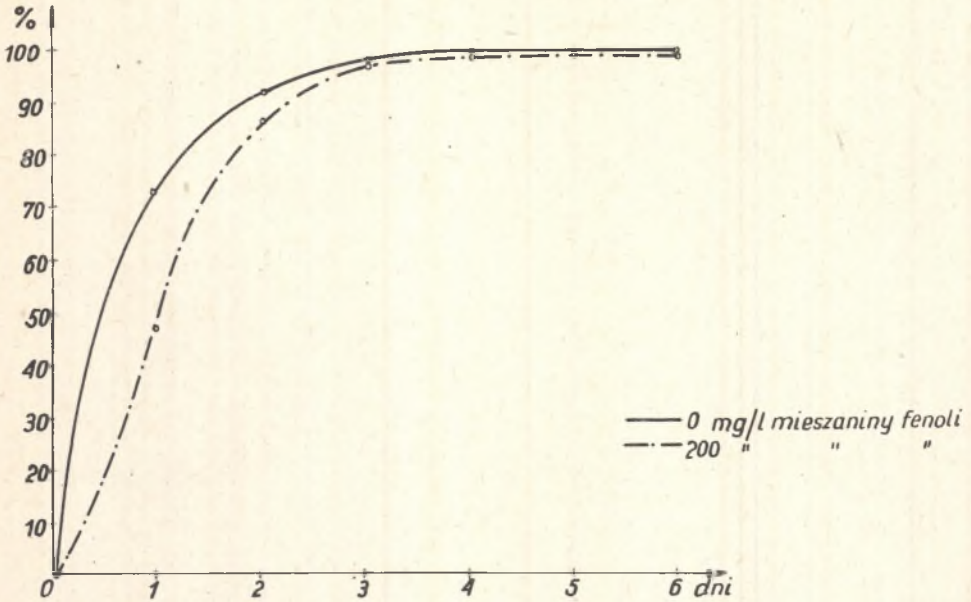
Zdolność kiełkowania kukurydzy w wodzie z rz. Kłodnicy



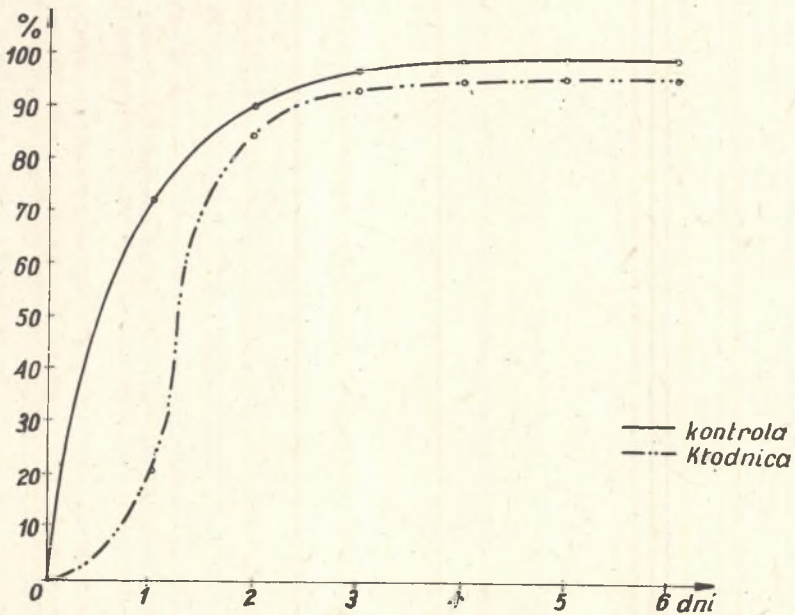
Zdolność kiełkowania gorczycy w roztworach krezolu



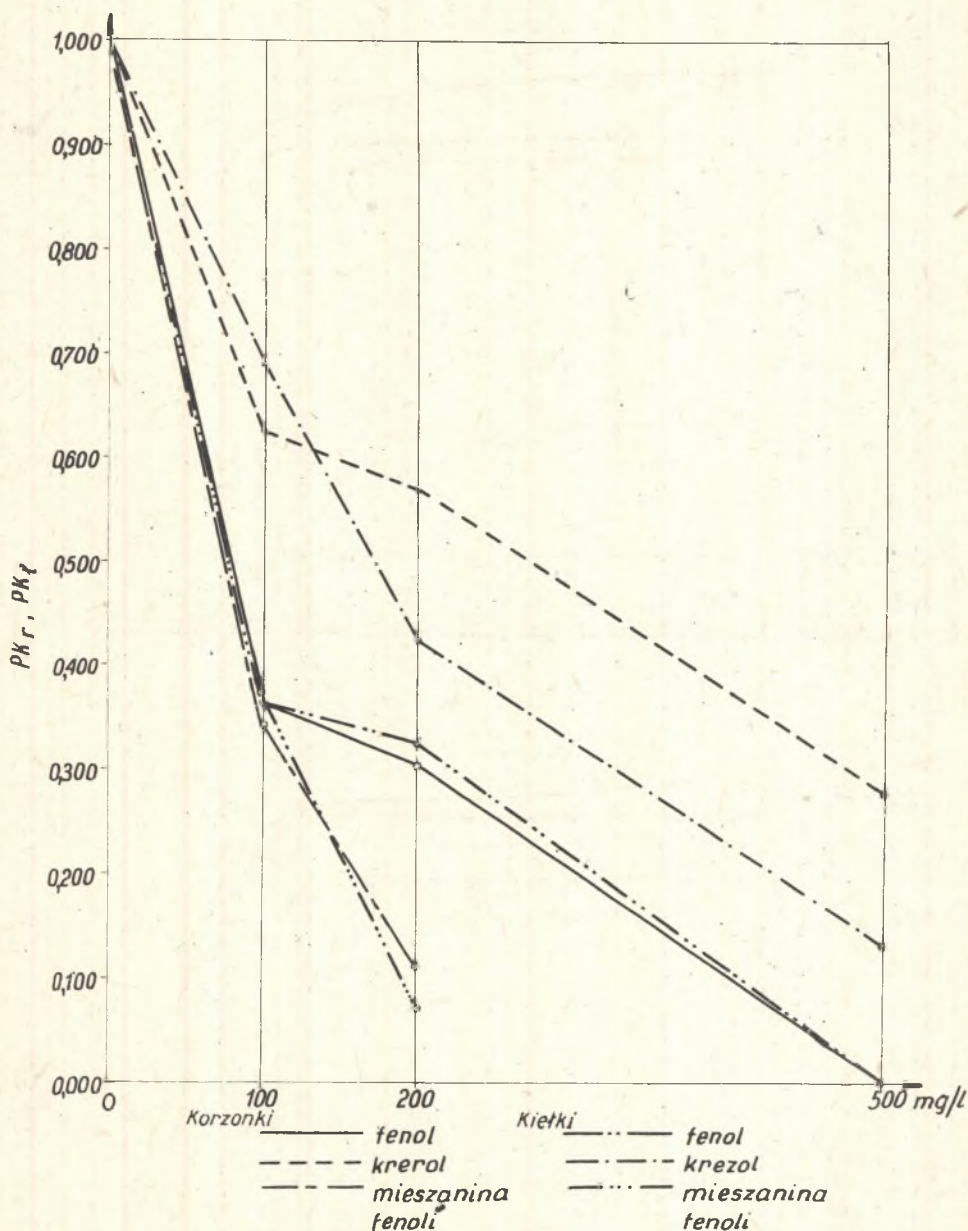
Zdolność kiełkowania gorczycy w roztworach fenolu



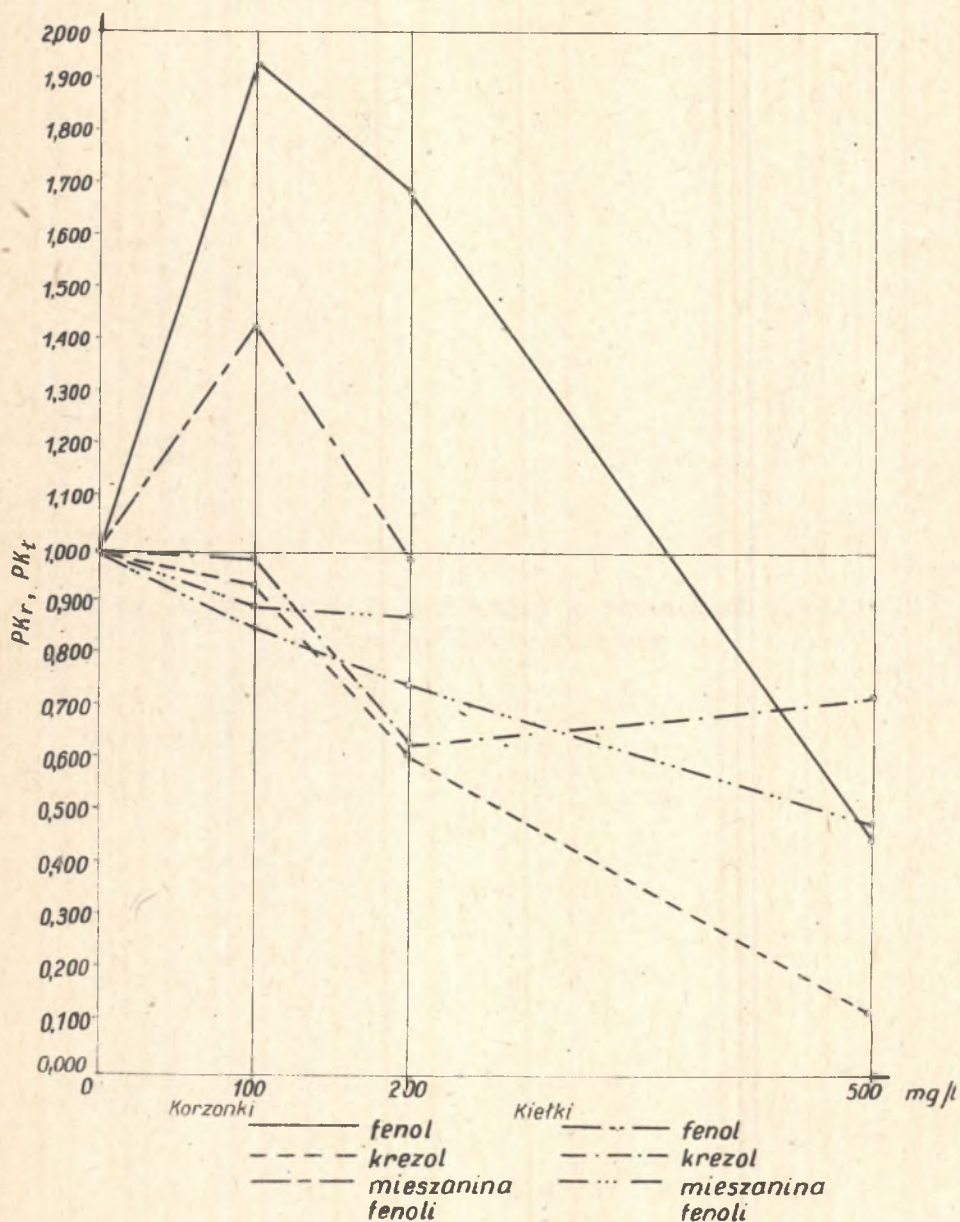
Zdolność kiełkowania gorczycy w roztworach mieszaniny związków fenolowych



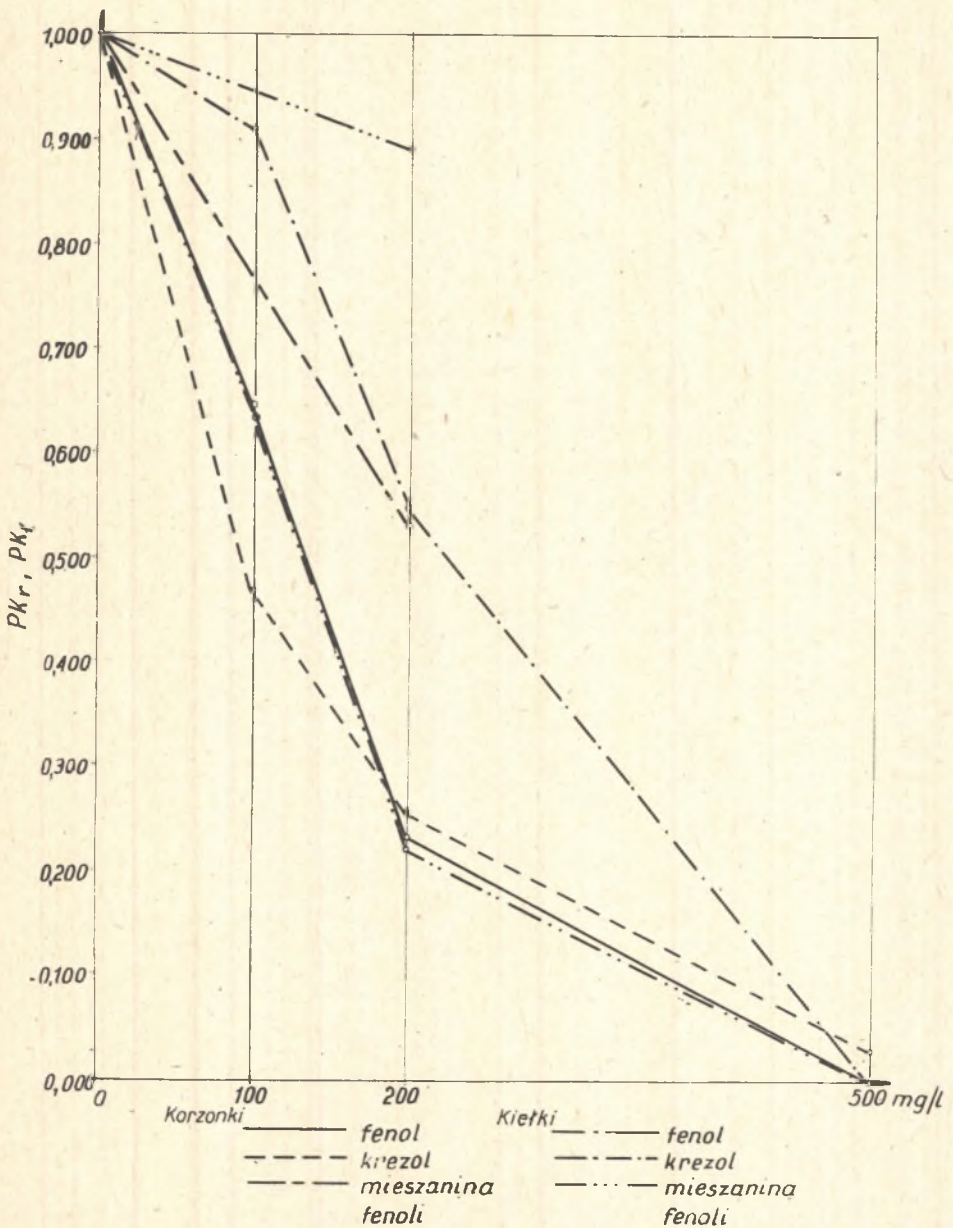
Zdolność kiełkowania gorczycy w wodzie z rz. Kłodnicy



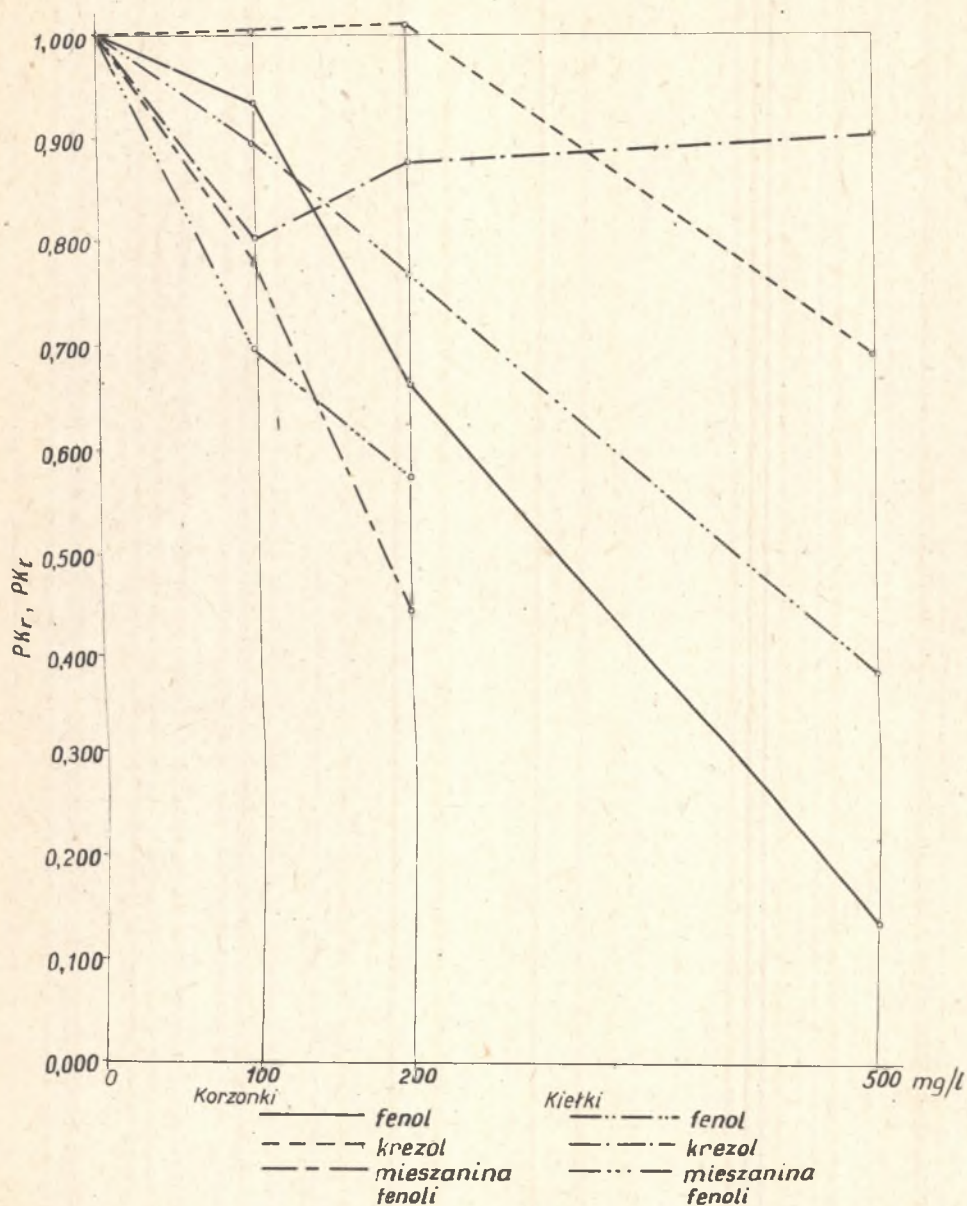
Rys.8. Współczynniki przyrostu korzonków i kiełków maku pod wpływem fenolu, krezolu i mieszaniny fenoli



Rys.9. Współczynniki przyrostu korzonków i kiełków kukurydzy pod wpływem fenolu, krezolu i mieszaniny fenoli



Rys.10. Współczynniki przyrostu korzonków i kiełków gorczycy pod wpływem fenolu, krezolu i mieszaniny fenoli



Rys. 11. Współczynniki przyrostu korzonków i kiełków kapusty pod wpływem fenolu, krezolu i mieszaniny fenoli