

## Summary of dissertation

### “Reaction of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings to the presence of ionic liquids in the soil”

Ionic liquids are chemical compounds, which thanks to their diverse properties and practically unlimited possibilities of synthesis have found wide application in various branches of industry, including agriculture. When released into the environment, these compounds can be taken up by plants and have an impact on their growth and development. The results of many years of research show that various factors, such as temperature, light, salinity, pathogens or various types of soil contamination, including chemical compounds, may adversely affect plants, causing overproduction of reactive oxygen species in their cells, which may lead to the formation of oxidative stress. A visible effect of oxidative stress in plants may be a decrease in the size and quality of their yield, and in extreme cases even the death of the plant.

The most important groups of plants are cereals, which are the basis of human and animal nutrition. One of the most important development phases of plants is their germination and early stages of development, therefore the presence of any stress factors at these stages of plant growth is one of the most important problems of modern agriculture, because it can lead to a significant decrease in the size and quality of yield. Barley is one of the spring cereals of great economic importance. This cereal has one of the least developed root systems among all cereals and is characterized by a short vegetation period, which requires locations rich in nutrients. These features make it sensitive to abiotic stress factors.

Therefore, the influence of six imidazolium and ammonium ionic liquids: tetraethylammonium chloride, tetrabutylammonium chloride, tetraoctylammonium chloride, 1-ethyl-3-methylimidazolium chloride, 1-butyl-3-methylimidazolium chloride and 1-methyl-3-octylimidazolium chloride, added to the soil in different concentrations, on the growth and physiological-biochemical changes in spring barley seedlings. An attempt was also made to assess how the length of contact between barley seedlings and ILs contained in the soil affects the growth and development of these plants.

The theoretical part of this work describes the characterization of ionic liquids, their structure, history, properties, application and discusses the previous research on the toxicity of ionic liquids to various elements of the environment. The mechanism of oxidative stress in plants and its causes are also discussed.

In the experimental part, the characteristics of the material used in the research were described, the methodology of the research and the conditions for conducting a vase experiment were given. The influence of the studied ILs on the basic parameters of phytotoxicity, i.e. germination potential and germination capacity of seeds, inhibition of root and shoot length, and yield of fresh weight of spring barley seedlings were also presented. EC<sub>50</sub> values were determined on the basis of the obtained results. The influence of ILs on the content of dry weight in plants and assimilation pigments was also described. Next, the influence of ILs contained in the soil on the content of basic oxidative stress biomarkers in spring barley, i.e. MDA, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and free proline levels, was evaluated. Another element of this study was the determination of the effect of the tested ILs added to the soil on the changes in antioxidant enzymes activity, i.e. peroxidase, catalase and superoxide dismutase in spring barley seedlings. All the chapters, in

which the results of own research was discussed, also contain discussion and references to presentational data in the currently available literature.

Another element of the paper was to ascertain the applicability of the studied compounds. The chapter describes the research conducted in order to determine the potential weed killing properties of ILs used. The studied compounds were applied by the method of spraying on the leaves of gallant soldier and common sorrel. In order to evaluate the weed killing properties of the studied compounds, changes in the appearance of plants were observed, inhibition of the length of plants and their roots, changes in the content of plant dry weight and assimilation pigments were determined.

The obtained results indicate that tetraoctylammonium chloride was a compound which did not show any effect on plants. On the other hand, 1-methyl-3-octylimidazolium chloride was the most potent agent affecting the growth and development of spring barley seedlings and showed the strongest weed-killing properties that could potentially be used in the future.

## **Streszczenie rozprawy doktorskiej**

### **pt. „Reakcja siewek jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) na obecność cieczy jonowych w glebie”**

Ciecze jonowe to związki chemiczne, które dzięki swoim różnorodnym właściwościom oraz praktycznie nieograniczonym możliwościom syntezy znalazły szerokie zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu w tym i w rolnictwie. Po przedostaniu się do środowiska naturalnego związki te mogą być pobierane przez rośliny i mieć wpływ na ich wzrost i rozwój. Z wyników wieloletnich badań wiadomo, że różnorodne czynniki, takie jak temperatura, światło, zasolenie, patogeny, czy różnego typu zanieczyszczenia gleb, m.in. związkami chemicznymi, mogą niekorzystnie oddziaływać na rośliny, powodując nadprodukcję reaktywnych form tlenu w ich komórkach co prowadzi może do powstania stresu oksydacyjnego. Widocznym efektem istnienia stresu oksydacyjnego w roślinach może być spadek wielkości i jakości ich plonu, a w skrajnych przypadkach nawet śmierć rośliny.

Do najważniejszych grup roślin należą zboża, które stanowią podstawę wyżywienia ludzi i zwierząt. Jedną z najważniejszych faz rozwojowych roślin jest ich kiełkowanie i wczesne stadia rozwoju, dlatego obecność na tych etapach wzrostu roślin jakichkolwiek czynników stresowych jest jednym z ważniejszych problemów współczesnego rolnictwa, gdyż może prowadzić do znacznego spadku wielkości i jakości plonu. Do zbóż jarych mających duże znaczenie gospodarcze należy jęczmień. Zboże to posiada jeden z najsłabiej rozwiniętych systemów korzeniowych spośród wszystkich zbóż i charakteryzuje się krótkim okresem wegetacji, przez co wymaga stanowisk zasobnych w składniki pokarmowe. Cechy te powodują, że jest on wrażliwy na abiotyczne czynniki stresowe.

W związku z powyższym, w niniejszej pracy dokonano oceny wpływu sześciu imidazoliowych i amoniowych cieczy jonowych (ILs) – chlorków: tetraetyloamoniowego, tetrabutylamoniowego, tetraoktyloamoniowego, 1-etylo-3-metyloimidazoliowego, 1-butylo-3-metyloimidazoliowego i 1-metylo-3-oktyloimida-zoliowego, dodanych do gleby w różnych stężeniach, na wzrost i zmiany fizjologiczno-biochemiczne w siewkach jęczmienia jarego. Dokonano również próby oceny, jak długość kontaktu siewek jęczmienia z ILs zawartymi w glebie wpływa na wzrost i rozwój tych roślin.

W części teoretycznej niniejszej pracy scharakteryzowano ciecze jonowe, ich budowę, historię, właściwości, zastosowanie oraz omówiono dotychczasowe badania dotyczące toksyczności cieczy jonowych dla różnych elementów środowiska. Omówiono również mechanizm stresu oksydacyjnego u roślin oraz przyczyny jego występowania.

W części doświadczalnej dokonano charakterystyki materiału wykorzystanego do badań, podano metodykę prowadzonych badań oraz warunki prowadzenia eksperymentu wazonowego. Przedstawiono również wpływ badanych ILs na podstawowe parametry fitotoksyczności tj. potencjał kiełkowania i zdolność kiełkowania nasion, inhibicję długości korzeni, części nadziemnych roślin oraz plonu świeżej masy siewek jęczmienia jarego. Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono wartości EC<sub>50</sub>. Opisano również wpływ badanych ILs na zawartość suchej masy roślin oraz barwników asymilacyjnych. Następnie dokonano oceny wpływu ILs zawartych w glebie na zawartość podstawowych biomarkerów stresu oksydacyjnego w jęczmieniu jarym tj. poziom MDA, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oraz wolnej proliny. Kolejnym elementem niniejszej pracy było określenie wpływu badanych ILs dodanych do

gleby na zmiany aktywności enzymów antyoksydacyjnych tj. peroksydaza, katalaza oraz dysmutaza ponadtlenkowa w siewkach jęczmienia jarego. Wszystkie rozdziały, w których omówiono wyniki badań własnych, zawierają również dyskusję i odniesienia do danych prezentowanych w dostępnej obecnie literaturze.

Kolejnym elementem pracy było określenie możliwości wykorzystania aplikacyjnego badanych związków. W rozdziale opisano przeprowadzone badania, mające na celu określenie potencjalnych właściwości chwastobójczych zastosowanych ILs. Badane związki zostały zastosowane w postaci oprysków na liście żóltlicy drobnokwiatowej oraz szczawiu zwyczajnego. W celu oceny właściwości chwastobójczych badanych związków obserwowano zmiany zachodzące w wyglądzie roślin, określono inhibicję długości roślin i ich korzeni, zmiany zawartości suchej masy roślin oraz barwników asymilacyjnych.

Uzyskane wyniki badań wskazują, że związkiem nie wykazującym oddziaływania na rośliny był chlorek tetraoktyloamoniowy. Związkiem mającym zaś najsilniejszy wpływ na wzrost i rozwój siewek jęczmienia jarego oraz wykazującym najsilniejsze właściwości chwastobójcze, które mogłyby zostać potencjalnie wykorzystane w przyszłości, był natomiast chlorek 1-metylo-3-oktyloimidazoliowy.