

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

DISERTAČNÍ PRÁCE

**Faktory ovlivňující možnosti šíření halofytních invadujících druhů
podél silnic**

Školitel: doc. RNDr. Pavel Cudlín, CSc.

Autor: Mgr. Markéta Nováková

České Budějovice 2019

Poděkování:

Děkuji doc. RNDr. Pavlu Cudlínovi, CSc. a RNDr. Boženě Šeré, Ph.D. za odborné vedení při vypracování této disertační práce.

Prohlašuji, že jsem disertační práci vypracovala samostatně na základě vlastních zjištění a za pomoci uvedené literatury.

V Českých Budějovicích dne 30. 6. 2019

Obsah

1	Úvod.....	6
2	Literární přehled.....	7
2.1	Silnice v krajině.....	7
2.2	Specifika stanovišť okrajů silnic a středových pásů.....	7
2.3	Vliv specifík biotopu na doprovodnou vegetaci.....	8
2.3.1	Kosení krajnic.....	9
2.3.2	Zimní údržba silnic.....	9
2.4	Halofytí rostliny.....	11
2.4.1	Halofitní vegetace silnic.....	11
2.4.2	<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	12
2.4.3	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.....	14
2.5	Invazní rostliny.....	16
3	Cíle práce a hypotézy.....	18
4	Materiál a metodika.....	20
4.1	Zjišťování tolerance obou druhů vůči zasolení půdy.....	21
4.2	Stanovení vzházivosti semen v solí kontaminovaném prostředí.....	21
4.3	Studium šíření semen.....	23
4.4	Studium gradientu a dynamiky zasolení půdy během roku v bezprostředním okolí silnic.....	26
4.5	Zjišťování vlivu zasolení půdy na výskyt, vývoj a rozmnožování druhů <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv. a <i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop. podél silni.	26
4.6	Statistická analýza.....	29
4.6.1	Zjišťování tolerance druhů <i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop. a <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.	29
4.6.2	Stanovení vzházivosti semen <i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop. a <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv. v solí kontaminovaném prostředí.....	30
4.6.3	Analýza šíření semen <i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop. a <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.	30
4.6.4	Půdní charakteristika v závislosti na vzdálenosti od silnice.....	30
4.6.5	Vliv faktorů silničního stanoviště na výskyt, růst a rozmnožování <i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop a <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.	31
5	Výsledky a diskuse.....	32

5.1	Potvrzení tolerance obou druhů vůči zasolení půdy a zjištění stupně této tolerance.....	32
5.2	Vzcházivost semen <i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop. a <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv. v solí kontaminovaném prostředí.....	33
5.3	Šíření semen <i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop. a <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.	37
5.4	Gradient a dynamika zasolení půdy během roku v bezprostředním okolí silnice.....	48
5.5	Vliv zasolení půdy na výskyt, vývoj a rozmnožování druhů <i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop. a <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv. podél silnice	52
6	Závěr	65
7	Seznam použité literatury.....	71
8	Soubor publikací tvořících disertační práci	78

1 Úvod

Silnice a dálnice jsou umělé stavby v krajině spojené s dopravním provozem a jejich specifickou údržbou. Silniční a dálniční síť usnadňují pohyb osob a zboží. Hrají hlavní roli v urbanizaci, rozvoji ekonomiky a zlepšují sociální interakci (Forman et al., 2002). Tyto umělé stavby významně zasahují do krajiny svou výstavbou i následujícím managementem. Také samotná doprava zanechává stopy na okolní krajině. Narušení krajiny ovlivňuje všechny její složky včetně rostlin, živočichů a půdních organismů vyskytujících se v okolí těchto staveb.

Silniční doprava v posledních letech nabývá na intenzitě. Silniční provoz neustává ani v zimním období, a tak je důležitou součástí managementu silnic i zimní údržba s použitím chemického posypového materiálu, nejčastěji chloridu sodného (Norrström and Bergstedt, 2001; Spellerberg, 2002). Jde o účinný způsob zabezpečení sjízdnosti i bezpečnosti vozovek, ale na druhé straně vede tento způsob ošetření k různému stupni zasolení okolních půd a podzemní i povrchové vody (Norrström and Bergstedt, 2001; Wegner and Yaggi, 2001; Spellerberg, 2002; Šerá, 2008). Zasolování v okolí silnic je významným stresujícím faktorem těchto stanovišť. Hodnoty zasolení podléhají charakteru zimy, množství srážek, sezóně a vzdálenosti od vozovky (Bryson, 2002).

Přesto je půda v okolí silnic s negativně ovlivněnými fyzikálními i chemickými vlastnostmi přirozeně osidlována nebo uměle osazována celou řadou rostlinných druhů (Spellerberg, 2002; Forman, 2003). Tato stanoviště jsou vhodným prostředím pro druhy s širokou ekologickou valencí k různým podmínkám prostředí a odolné vůči disturbancím i dlouhodobé zátěži (Forman and Alexander, 1998; Šerá, 2008). Rostlinná společenstva tvoří převážně byliny. Jde o jednoleté i vytrvalé druhy (Forman, 2003). Na značnou rozmanitost druhů v okolí silnic poukazují mnohé odborné práce (např. Norton, 1995; Underhill, 2000; Forman, 2003; Jantunen, 2006; Šerá, 2008). Silnice a jejich vegetační doprovod jsou někdy považovány za samostatný ekosystém (Dove, 1997) a také za liniové koridory k šíření nepůvodních, často invazních druhů v krajině (Parandes and Jones, 2000; Harrison, 2002; Pauchard and Alaback, 2004). Většinou jde o nebezpečné plevelné druhy (Frenkel, 1978; Šerá 2010 a 2011; Ansong and Pickering, 2013).

Cílem této práce bylo posoudit vliv antropicky podmíněného zasolení půdy na výskyt a pravděpodobnou migraci vybraných druhů rostlin podél silnic. Vybrány byly druhy *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. a *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. Oba druhy jsou považovány za velmi agresivní plevele širokořádkových plodin. *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv., je považována za třetí nejškodlivější plevel světa (Mikulka, 1999) a patří mezi invazní nepůvodní druhy české flóry (Pyšek and Sádlo, 2002). Výskyt obou druhů na stanovištích podél silnic se v průběhu posledních let zintenzivnil.

2 Literární přehled

2.1 Silnice v krajině

Silniční a dálniční síť se stala neoddelitelnou součástí dnešní kulturní krajiny. Silnice a dálnice významně zasahují do krajiny svou výstavbou i následujícím managementem (Bennet, 1991; Carr et al., 2002; Forman, 2003). Mění strukturu krajiny, dělí ji na fragmenty a vytváří bariéry (Lipský, 1999) nebo naopak fungují jako biokoridory (Hodkinson and Thompson, 1997; Forman et al., 2003). Tento způsob zásahu do krajiny ovlivňuje všechny její složky včetně rostlin, živočichů a půdních organismů vyskytujících se v okolí těchto staveb (Forman and Deblinger, 2000; Trombulak and Frissell, 2000). Trombulak and Frissell (2000) hovoří o sedmi hlavních ekologických faktorech silničních komunikací na okolní krajinu: úmrtnost a poranění živočichů i poničení vegetace během výstavby, úmrtnost živočichů při kolizích s vozidly, změny chování živočichů, fyzikální a chemické změny prostředí, šíření cizích druhů rostlin, rostoucí využití částí krajiny člověkem.

2.2 Specifika stanovišť okrajů silnic a středových pásů

Okolí silničních komunikací není většinou zcela rovnocenné. Taktéž pojem roadside v anglicky psané literatuře označuje různě rozsáhlou oblast, která není homogenní, a kterou autoři odborných článků člení do několika částí. Např. v rámci roadside rozlišují: první část, která bezprostředně přiléhá k povrchu vozovky a označují ji ramenem silnice (road shoulder), které se svažuje do druhé části – silničního příkopu (ditch). Část, která stoupá z příkopu označují jako vnější svah příkopu (outer slope of ditch) a oblast následně volně přechází do vnější krajiny podél silnice (outer roadside) (Forman et al., 2002). Toto členění je zcela subjektivní, protože neexistuje formálně uznaná klasifikace silničních stanovišť ani rostlinných společenství vyskytujících se podél silnic (Spellerberg, 2002).

Podmínky stanovišť okrajů silnic jsou velmi rozmanité vzhledem k působení opakujících se a střídajících se vlivů. V jarním období je půda často přemokřená, a naopak v létě vysychá vzhledem k častému přehřívání jejího povrchu během horkých dní. Aplikace chemických posypů během zimních období a následné kolísání obsahu soli v půdě se také výrazně podílí na podmínkách stanoviště. Existence těchto vlivů bezprostředně ovlivňuje texturu a chemismus půdy. Fyzikální a chemické změny pak mají za následek další problémy těchto stanovišť, uveďme utužování půdy a tím také snížení její propustnosti, zvýšený odtok vody z povrchu silnic i z okolí, změny osmotického tlaku, zvýšení pH půdy (Lipský, 1999). Půdní substrát v okolí silnic není přirozený, vzniká činností člověka. Silniční vegetace i vyskytující se organismy jsou stresovány opakovaným narušováním podmínek prostředí spojeným s údržbou a provozem silničních komunikací (Saunders et al., 1991; D'Antonio and Vitousek, 1992; Trombulak and Frissell, 2000; Forman 2003). Používáním silnic a jejich údržbou se dostává do okolního prostředí množství těžkých kovů, solí, organických molekul (dioxinů, PCB), ozonu, ale také množství živin jako je dusík a fosfor (Trombulak and Frissell, 2000). Projíždějící vozidla na silnicích vytváří a šíří prach, který se usazuje na rostlinách a zpomaluje nebo zcela

znemožňuje fotosyntézu, respiraci, transpiraci a může způsobit nevratné poškození vegetace (Farmer, 1993). Jemný prach je také často zdrojem vznikajících jemných sedimentů, které kontaminují okolní vodní ekosystémy (Gjessing et al., 1984; Correll et al., 1992). Na druhé straně tento prach obsahuje částice organického materiálu, který činí mělké půdy úzkého pásu podél vozovek velmi úživnými. Rozmanité jsou i mikroklimatické podmínky v bezprostředním okolí vozovek. V letním období dochází k častému přehřívání asfaltu, což se projeví na průměrné roční teplotě v okolí silnic. Forman et al. (2003) uvádí nárůst průměrné roční teploty u silnic o 3-4°C. Jev je patrný do vzdálenosti až 8 m při povrchu vozovky a do 4 m ve výši 50 cm nad povrchem vozovky.

2.3 Vliv specifik biotopu na doprovodnou vegetaci

Obnažený povrch půdy v okolí silnice, po dokončení její výstavby, je novým stanovištěm pro organismy. Okraje nových silnic bývají často hned osety z důvodu zabránění eroze půdy, ale podléhají také procesu přirozené sukcese (Ullman and Heindl, 1989; Forman et al., 2003). Rozmanitosti terénu okolí silnic odpovídá rozmanitost vlivů, které působí na vegetaci v rozdílných částech tohoto okolí a formují ji. O těchto vlivech je pojednáno v kapitole o specifikách silničních stanovišť. Vzhledem k této skutečnosti, vegetace podél silnic není jednotlivých úseků silnice. Výrazně se liší od ostatních okolních porostů svou druhovou bohatostí a krytem (Formann et al., 2002; Cousis, 2006; Jantunen et al., 2006; Šerá, 2008; Zeng et al., 2012). Dove (1997) nahlíží na silnice a jejich vegetační doprovod jako na samostatný ekosystém. Rozdílnost podmínek výše zmiňovaných částí okolí silnic se zcela odráží v podobě jejich vegetačního krytu. Literatura hovoří o tzv. vegetační zonaci (Whittaker, 1975; Morin, 1999; Forman et al., 2002; Spelerberg, 2002). Pro rameno silnice je typická řídká vegetace s odolnými nadzemními částmi, nízkou výškou a odolností k vysychání půdy (Formann et al., 2002). Silniční příkop je sycen dešťovou vodou stékající z povrchu vozovky a z přilehlých pozemků. Proto vegetaci příkopů dominují vlhkomilné druhy nebo přímo mokřadní druhy. Často mají vzhled tenkého pruhu mokřadu vizuálně se lišícího od okolní krajiny (Forman et al., 2002). V suchých oblastech najdeme v příkopech i vzácné rostliny (Holzapfel and Schmidt, 1990). Oblast vně od příkopu má často půdní podmínky na rozhraní ramene a příkopu, má tak vegetaci více typickou pro dobře odvodněné otevřené oblasti rozdělené jinde po krajině. Kosení je zde řídké, aby nedocházelo k zbytečnému zhutňování půdy pojezdy sekaček a kosení samo o sobě výrazně mění vegetaci (Gilbert, 1991). Rozdílnost vegetace za příkopem může být více znatelná na delších nebo strmějších svazích, odráží například větší rozsah vlhkostních půdních podmínek. Na vegetaci vnější části silniční oblasti, zvláště na jejím druhovém složení má také vliv úhel sklonu, sluneční expozice, stupeň sukcese, druh půdy, typ a výška okolní vegetace nebo hojnost semen.

Všechny části těchto stanovišť jsou vhodným prostředím pro druhy s širokou ekologickou valencí k životním podmínkám a odolným vůči disturbancím i dlouhodobé zátěži (Suchara, 1986; Bazzaz, 1996; Pyšek, 1996; Smith, 1996; Forman and Alexander, 1998; Townsend et al., 2000; Šerá, 2008). Vyskytují se zde druhy invazní i expanzivní, které se mísí s druhy

z okolního prostředí (Vermeulen and Mopdam, 1994 a 1995; Norton et al., 1995; Underhill and Angold, 2000; Forman et al., 2002). Silnice a jejich podélné pásy vegetace jsou považovány za liniové koridory k šíření nepůvodních často invazních druhů v krajině (Hodkinson and Thompson, 1997; Parandes and Jones, 2000; Harrison, 2002; Forman et al., 2003; Pauchard and Alaback, 2004). V oblastech s chladnými klimatickými podmínkami, kde je používána sůl k údržbě sjízdnosti vozovek, může tato skutečnost umožnit pohyb určitých sůl tolerujících nebo přímo vyžadujících druhů rostlin (Scott Davison, 1985; Aanen et.al, 1991; D'Antonio, 1993). Výzkum v Nizozemí prokázal, že se sůl tolerující druhy rozšířily a šíří na vzdálenost až 150 km (Van der Sluijs and Van der Bohemen, 1991). Společenstva tvoří převážně byliny. Jde o jednoleté i vytrvalé druhy. Dřeviny jsou většinou uměle vysazovány (Forman, 2003).
Management silnic a jeho dopad na jejich okolí

2.3.1 Kosení krajnic

Kosení krajnic je prováděno za účelem bezpečnosti vozovek pro řidiče, brání nebezpečí požáru a také se tímto způsobem reguluje šíření plevelů a některých invazivních rostlin. Kosení částečně omezuje spontánní vývoj společenstva, ale neprobíhá všude.

2.3.2 Zimní údržba silnic

Nárůst intenzity dopravy během zimních měsíců je příčinou požadavku na účinné zabezpečení sjízdnosti vozovek a tím i jejich bezpečnosti v tomto období. K zimnímu ošetření vozovek se v Evropě používají dva základní druhy posypových materiálů: chemické rozmrazovací materiály a inertní posypové materiály. Chemické rozmrazovací materiály jsou látky, které svými vlastnostmi způsobují fyzikálně chemickou změnu sněhu a ledu přítomného na povrchu vozovky, přičemž dochází k jejich tání. Inertní posypové materiály jsou látky, které mechanickým způsobem zvyšují součinitel tření (zdrsňují) zledovatělé, nebo ujeté sněhové vrstvy na povrchu vozovky (Ekolist.cz, 2001).

Velmi účinné, rychlé i cenově dostupné se jeví využití chemických posypových materiálů. Na druhé straně vede tento způsob k různému stupni zasolení okolních půd a podzemní i povrchové vody (Norrström and Bergstedt, 2001; Wegner and Yaggi, 2001; Spellerberg, 2002; Šerá, 2008). Hodnoty zasolení podléhají charakteru zimy, množství srážek, sezóně a vzdálenosti od vozovky (Bryson, 2002).

Sůl je aplikována převážně technologií zvlhčování suché soli solankovým roztokem. Tato technologie se vyznačuje vysokou efektivitou a snižuje negativní zatížení prostředí v okolí silnic na zcela nezbytné minimum (Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů č. 104/1997 Sb.).

Fyzikální vlastnosti solí umožňují snížit bod mrazu vody, a tak zabránit vytvoření ledu, nebo rozpustit sněh. Čím vyšší je koncentrace solného roztoku, o to hlouběji leží bod jeho zmrznutí. Tento pokles však není nekonečný. Pro jednotlivé druhy posypových solí existují určité limity maximálních koncentrací. Tato hranice odpovídá teplotě určené eutektickým bodem. Je to určitý bod mrazu, při kterém nasycený roztok stejnoměrně zmrzne. Hranice praktického použití solí pro běžnou zimní údržbu proto leží výrazně nad eutektickým bodem (Ekolist.cz, 2001).

Soli účinkují jako rozmrazovací látky, jestliže absorbovaly vodní vlhkost z ovzduší, nebo byly předem navlhčeny vodou. Následně když tyto roztoky přijdou do styku s ledem nebo sněhem,

nemohou koexistovat při okolních teplotách nad eutektickým bodem. Eutektický bod chloridu sodného je $-21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. To znamená, že chlorid sodný ve vodním roztoku s koncentrací cca 22 % může rozpouštět led až do $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při solení silnic se však této koncentrace nedosahuje. Pro účely zimní údržby komunikací účinkuje chlorid sodný optimálně do teploty zhruba $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ až maximálně $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pod touto teplotou se již značně zpomaluje jeho tavící schopnost a při teplotách $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ se v podstatě stává pro zimní posyp už neúčinným (Ekolist.cz, 2001).

Na účinnost chloridu sodného má také vliv relativní velikost zrn. Například jemné částičky ($< 1\text{ mm}$) prodlužují dobu setrvání soli na povrchu silnice. Doporučovaná optimální křivka zrnitosti se většinou pohybuje v rozmezí $0,16\text{--}5\text{ mm}$. Do posypových solí bývá přidáván zpomalovač ztvrdnutí neboli tzv. protispékací přípravek, který zabraňuje tvorbě hrudek. Většinou jde o ferrokyanid draselný nebo ferrokyanid sodný (Ekolist.cz, 2001).

Sůl ze silnic se do půdy dostává přímým transportem z povrchu vozovky nebo je rozstříkována do okolí projíždějícími auty. Jak uvádí literatura, ne zcela zanedbatelné množství soli se do půdy dostane z odhrnuté sněhové pokrývky z vozovky, která se hromadí na krajnicích (Formann et al, 2003). Silnice se solí i v období bez sněhových srážek, kdy teploty klesnou pod bod mrazu a dochází k namrznání vozovek. Povrch silnic pak rychleji vysychá a částičky soli jsou šířeny do okolí v pevném stavu (Formann et al., 2003). Konkrétně v našich podmínkách (a v ostatních humidních oblastech stejně) je dostatek srážek, které vymývají a odplavují většinu solí, proto dopady zasolení nejsou tak dramatické jako v aridních oblastech (Larcher, 1988; Bredy, 2002).

Chlorid sodný byl a je nejběžnější prostředek zimního chemického ošetření silničních komunikací (Norrström and Bergstedt, 2001; Forman et al., 2002; Spellerberg, 2002). Relativní čistota soli se liší závisěji na jejím zdroji. Vzhledem k této skutečnosti může posypová sůl obsahovat například příměs těžkých kovů, ale i základní rostlinné živiny (Oberts, 1986; Bauske and Goetz, 1993; Legret and Pagotto, 1999; Formann et. al., 2002). Chlorid sodný je buď mechanicky rozprašován na vozovky jako suchá sůl nebo v roztoku s abrazivou (Forman et al., 2002).

Sůl v půdě, ovlivňuje rostliny dvěma základními mechanismy: osmotickým účinkem a specifickými účinky iontů (Bogemans et al., 1989; Bredy, 2002; Tahkokorpi et al., 2012). Sůl v půdním roztoku osmoticky váže vodu a ta se stává pro rostliny téměř nedostupnou. Naopak může dojít na základě zákonitostí osmózy u rostliny ke ztrátě vody. Aby rostlina mohla získat vodu ze substrátu, musí uvnitř buněk vytvořit nižší osmotický potenciál. Halofyty toho dosahují hromaděním solí v buněčné šťávě. Míra hromaděním solí a iontové poměry jsou často charakteristické pro určitou čeleď a druh halofytních rostlin (Larcher, 1988; Lefevre et al., 2001 in Lipský, 2000; Munns, 2002).

Jak rostlina bude reagovat na zasolení, ovlivní také druh soli (iontů). Stejně jako v míře hromaděním solí a iontových poměrech se liší jednotlivé čeledi a druhy halofytů také v citlivosti vůči různým iontům (Bredy, 2002).

Bylo zjištěno, že nadbytek iontů Na^+ a Cl^- způsobuje bubření protoplazmy a působí na enzymatickou aktivitu (Larcher, 1988). V bazálním i stovebním metabolismu nastávají, jak kvalitativní, tak kvantitativní změny (Northover, 1987). Důsledkem těchto změn je

nedostatečná tvorba energie při fotofosforylaci a respiračních fosforylacích, poruchy asimilace dusíku, změněné zastoupení aminokyselin a abnormální jevy v metabolismu bílkovin (Benerjee et al., 1983 in Lipský, 2000; Tester and Davenport, 2003). Nadbytek iontů Na^+ má také vliv na fyzikální změny půdy. Dochází k rozptýlení koloidů, tím se změní struktura půdy, pohyb půdního vzduchu je limitován a rostliny tak mají málo kyslíku. Díky změně struktury půdy se také velmi zpomalí infiltrace a perkolace srážkové či závlahové vody. Rostliny tak mají také nedostatek vody. Rostliny zakrní, mají malé listy s barevnými změnami až nekrózami, či je předčasně ztrácejí (Bredy, 2002; Pareek et al., 2010). Cl^- ionty jsou pro rostlinu méně problematické, účastní se mnoha procesů v buňkách a hrají důležitou roli v nastolení elektrochemického gradientu. Chlór se v rostlinné buňce vyskytuje v koncentraci 188 μM (Buchanan et al., 2000).

Při vysokém obsahu chloridu sodného v půdě je omezen příjem minerálních živin (především K^+ , Ca^{2+}), klesá produkce sušiny a rychlost růstu, zejména postižen je růst kořenů (Larcher, 1988; Kuiper et al., 1990; Pareek et al., 2010). Rostliny jsou citlivější k soli v častějším stádiu růstu a salinita přímo může zpozdit nebo zpomalit klíčení semen (Bredy, 2002; Pareek et al., 2010).

2.4 Halofytní rostliny

Halofyty jsou skupinou rostlin, u které se vyvinula tolerance na sůl a mohou tak růst na slaných půdách (Grigore, 2012). Historii klasifikace halofytů se ve své knize podrobně věnuje Grigore (2012) nebo Bredy (2002). Většina autorů však nejčastěji dělí halofyty do dvou skupin (Slavíková, 1986). Rostliny, které nejen vyšší koncentraci solí snášejí, ale pro svůj růst a vývoj ji potřebují, se nazývají obligátní halofyty. Obligátní halofyty mají vytvořeny některé funkční a morfologické adaptace, které jsou reakcí na zvýšenou koncentraci solí v půdě. Jejich specifickou fyziologickou vlastností je schopnost regulovat příjem solí z půdního roztoku a vytvoření zvláštních mechanismů, regulujících osmotický tlak buněčného obsahu. Na slaných půdách se běžně vyskytují také takové druhy rostlin, které snášejí určitý stupeň zasolení půd, ale pro svůj růst a vývoj vyšší koncentraci solí nepotřebují. Rostou i na jiných biotopech s normálním chemickým složením půdy. Nazývají se fakultativní halofyty. Vegetační linie podél silnic jsou často domovem právě těchto fakultativních halofytů.

2.4.1 Halofitní vegetace silnic

Zvýšená slanost půd v okolí silnic je jednou ze specifických podmínek těchto stanovišť a silniční okraje a středové pásy se stávají vhodným prostředím pro fakultativní halofyty jako jsou například *Dactylis glomerata* L., *Poa pratensis* L., *Achillea millefolium* (Wróbel a kol., 2006). Truscott a kol., 2005 uvádí dále jako běžné druhy silničních stanovišť *Plantago maritima*, *Agrostis stolonifera*, *Elitrigia repens*, *Festuca rubra*. Nejběžnějším halofytem u silnic je *Puccinellia distans* (Šerá, 2008; Smith, 2017). Častá je také *Spergularia marina* (Braithwaite, 2010), *Sagina maritima* (James, 2010). Smith (2017) dále uvádí méně běžné, ale přesto u silnic zachycené *Carex maritima*, *Juncus balticus*, *Triglochin palustre*. Šerá (2008) zmiňuje *Digitaria sanguinalis* a *Spergularia rubra* jako další dva nejčastější druhy po *Puccinellii distans*, které se vyskytují v nejbližším okolí asfaltu.

2.4.2 *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.

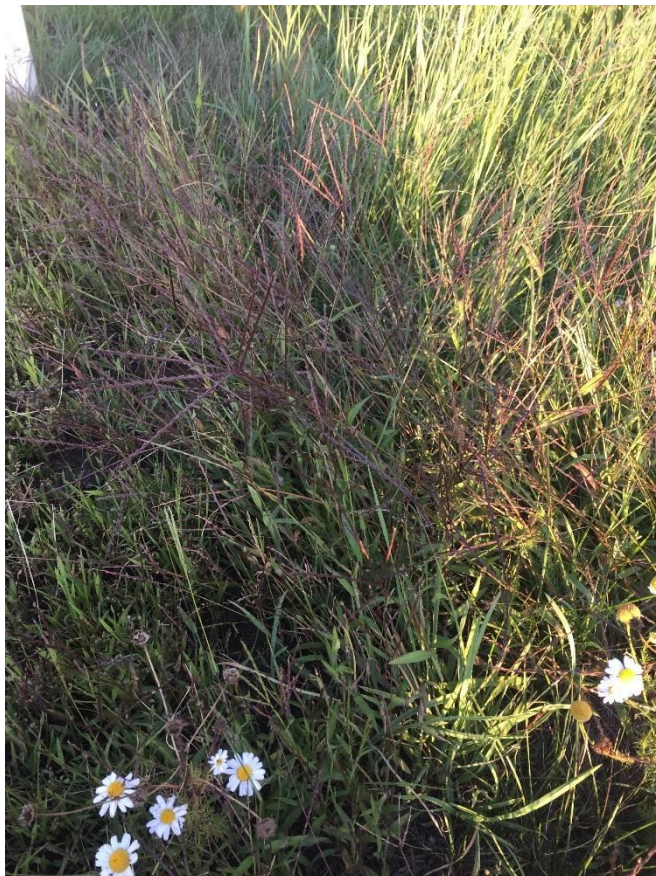
Digitaria sanguinalis (L.) Scop. (Obr. 1, 2.) je jednoletá C4 (Elmore et al., 2000 in Vanangamundi et al., 2013) rostlina z čeledi Poaceae. Její stébla dorůstají délky 20–80 cm, mohou být vzpřímená, častěji však přiléhají k substrátu. Elmore et al. (2000) in Vanangamundi et al. (2013) také uvádí, že *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. má schopnost vytvořit kořinky z nižších nodů stébel, které, když se dotknou půdy, zakoření a rostlina tak vytváří pokryvnou formu. Od ostatních rosiček ji lze odlišit na základě chlupatých čepelí listů a jejich často načervenalých okrajových žilek (Deyl and Ušák, 1964). Je to však variabilní druh s mnoha poddruhy (Gardner, 1996 in Vanangamundi et al., 2013). Kořenuje hustou sítí svazčitých kořenů (Maun and Barrett, 1986). Kořenový systém je velmi rychle vytvořen. Po deseti týdnech růstu je tento systém stejně velký jako v dospělosti rostliny (Gardner, 1996 in Vanangamundi et al., 2013). Tento autor také uvádí, že jde o strategii, která posiluje její výskyt a konkurenční schopnosti. Květenství tvoří 2–16 prstovitě roztažených lichoklasů. Délka lichoklasů se pohybuje v rozmezí 3–20 cm. Rozmnožuje se pouze semeny (Deyl and Ušák, 1964; Mlíkovský and Stýblo, 2011; Deyl and Ušák, 1964). Rostlina začíná kvést 40–50 dní po vyklíčení (Elmore et al., 2000 in Vanangamundi et al., 2013), kvete a tvoří semena do prvních mrazíků (Holm et al., 1991 in Vanangamundi et al., 2013). Jde o rostlinu krátké denní periody (Gardner, 1996 in Vanangamundi et al., 2013) jejíž kvetení je stimulováno osvětlením krátké fotoperiody nebo klesajícím denním světlem (Holm et al., 1991 in Vanangamundi et al., 2013). V klasech obecně dozrává několik tisíc obilek (Mlíkovský and Stýblo, 2006; Jursík et al., 2011). Může produkovat až 150 000 semen na rostlinu (Elmore et al., 2000 in Vanangamundi et al., 2013). Čerstvě dozralá semena jsou dormantní (Gardner, 1996 in Vanangamundi et al., 2013). Stejný autor uvádí délku období dormance tohoto druhu 2,5–6 měsíců. Následující jaro vyklíčí méně než 50 % semen, ale ostatní budou klíčit v následujících obdobích a letech (Kowalsick, 2001 in Vanangamundi et al., 2013).

Semena této trávy mohou být šířena přichycením se na srst pasoucích se zvířat (Radosevich et al., 1997 in Vanangamundi et al., 2013), větrem a také lidskou činností. Foyet et al. (1983) zmiňuje, že semena této rostliny byla rozšířena po světě s materiálem používaným k zatížení lodí. Rostlina umírá s mrazem (Uva et al., 1997). Elmore et al. (2000) in Vanangamundi et al. (2013), Holm et al. (1991) in Vanangamundi et al. (2013) uvádějí skutečnost o tomto druhu, že v teplých oblastech Spojených států může *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. přezimovat. Zůstává tak ve vegetativní formě celoročně a na jaře nebo brzy v létě pak roste a vytváří generativní orgány. Ve stejných oblastech také Elmore et al. (2000) in Vanangamundi et al. (2013) zmiňuje, že *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. zde může klíčit kdykoli během roku.

Digitaria sanguinalis (L.) Scop. je problematickým plevelem převážně širokořádkových plodin. Často se vyskytuje i ve městech podél chodníků, zdí i mezi dlažbou. Na úhorech, rumišťích a podél cest (Maun and Barrett, 1986; Jehlík 1998; Kubát et al., 2002.) a na krajnicích, nebo středových pásech silnic (Šerá et al., 2014). *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. byla nalezena ve všech půdních typech (Uva et al., 1997), přesto ale upřednostňuje písčité půdy (Gardner, 1996 in Vanangamundi et al., 2013). Toleruje chudé, suché půdy (Uva et al., 1997) i půdy s nízkým pH (Buchmann et al., 1975).



Obr. 1 – Mladé rostliny Digitaria sanguinalis (L.) Scop.



Obr. 2 - Digitaria sanguinalis (L.) Scop.

2.4.3 *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.

Echinochloa crus-galli (L.) P. Beauv. (Obr. 3, 4) patří mezi jednoleté pozdně jarní plevely. Je teplomilným druhem, ale našim klimatickým podmínkám se přizpůsobila (Kneiflová and Mikulka, 2003). Mikulka et al. (1999) uvádějí její původ ve střední až východní Asii, dnes je však rozšířena po celém světě.

Echinochloa crus-galli (L.) P. Beauv. má vystoupavou nebo poléhavou šedo zelenou lodyhu, může být i nafialovělá, s drobnými chloupky. Délka rostliny se pohybuje v rozmezí 30–100 cm (Mikulka et al., 1999). Listy *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. jsou hladké a lysé. Uprostřed listu je patrná bělavá žilka. Rozmnožuje se pouze generativním způsobem. Květenství tvoří přímá až převislá lata (5–10 cm) složená z lichoklasů. Jednotlivé klásky mají většinou osinu (Kneiflová and Mikulka, 2003). Mikulka et al. (1999) popisují plod jako pluchatou obilku, která je na jedné straně vypouklá na druhé straně zploštělá. Dále uvádějí existenci osinaté i bezosinaté formy. Každá rostlina je schopna vyprodukovat až několik tisíc obilek. Obilky na rostlině dozrávají postupně. Zralé obilky spadnou na půdu v okolí mateřské rostliny a doplní tak půdní zásobu. Kneiflová and Mikulka (2003) uvádí, že si tato semena udržují v půdě klíčivost 8–10 let. Semena *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. neklíčí hned, ale nastává u nich období dormance, která trvá 3–6 měsíců, nebo také déle. Obilky hromadně klíčí a vzchází až následující rok (Kneiflová and Mikulka, 2003). Pro *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. je typická autochorie – barochorie. Z blízkosti mateřské rostliny mohou pak být šířeny jinými vektory (vodou, zvířaty...) (Mikulka et al., 1999).

Echinochloa crus-galli (L.) P. Beauv., je označována jako třetí nejškodlivější plevel světa (Mikulka, 1999; Kneiflová and Mikulka, 2003). Patří mezi invazní nepůvodní druhy české flóry (Pyšek and Sádlo, 2002). Jako druh má řadu předností. Vzchází během celé své vegetace (pozdní jaro až podzim), její vývoj je velmi rychlý, dobře odnožuje a tvoří tak husté, mohutné trsy, tvoří velké množství semen, která jsou schopna v půdě přetrvávat dlouhou dobu, její obilky dozrávají také velmi rychle. U *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. byla objevena rezistence vůči některým herbicidům (Mikulka and Slavíková, 2008).

Jako nepříjemný plevel roste převážně v širokořádkových plodinách okopanin, zavlažované zelenině, luskovinách, kukuřici a prořídých obilovinách (Kneiflová and Mikulka, 2003). Velmi často také osidluje příkopy, rumiště, úhory. Nalezneme ji podél cest, na skládkách, v parcích i na březích vod (Kneiflová and Mikulka 2003). Z hlediska půdních podmínek upřednostňuje vlhké, výživné humózní půdy, ale je velmi přizpůsobivá, lze ji nalézt na suchých a nevýživných půdách (Kneiflová and Mikulka, 2003) a roste zřídka nebo výjimečně v zasolených půdách (Grigore, 2012).



Obr. 3 - Echinochloa crus-galli (L.) P. Beauv.



Obr. 4 - Echinochloa crus-galli (L.) P. Beauv.

2.5 Invazní rostliny

Invazní rostliny jsou druhy rostlin na daném území nepůvodní, člověkem zavlečené, které se zde nekontrolovatelně šíří a tím vytlačují původní rostlinné druhy tohoto území. Rozsáhlé nekontrolovatelné šíření nepůvodních druhů rostlin může rozvrátit celá společenstva či ekosystémy. Dochází k potlačování nebo úplné likvidaci mnoha druhů s podobnou nikou, ale i druhů ostatních (Řepka, 2014; mzp.cz, 2019).

Pyšek (2018) uvádí, že kritéria pro to, co je považováno za „invazní“ jsou rozvolněnější. Ekologická definice je založena na rychlosti šíření a ochránářská definice je soustředěna na dopady na přirozená společenstva.

Úspěšnost invazních druhů tkví v jejich určitých biologických vlastnostech. K typickým vlastnostem invazních rostlin patří: vysoká plodnost, dobrá klíčivost semen, snadné šíření diaspor nebo schopnost vegetačního rozmnožování. Se schopností šíření úzce souvisí množství DNA v buněčném jádře. Zde platí, že „čím méně, tím snadněji“, malý genom je výsledkem selekce krátkých generací, což je spojeno s velkým počtem malých, dobře rozšiřitelných semen (Pyšek, Tichý, 2001). Pyšek (2018) upozorňuje na výhody schopnosti samooplození. Druhy, které tuto schopnost mají, mají větší šanci zdomácnět mimo oblast původního rozšíření a vytvořit tam životaschopné reprodukcující se populace a úspěšně se šířit do okolí. Dalšími typickými vlastnostmi invazních rostlin jsou: schopnost přežít v nepříznivých podmínkách, rychlý růst a velká produkce biomasy, hustý hluboko kořenící systém a vysoká konkurenceschopnost na stanovišti (Pyšek, Tichý, 2001) a také skrytá genetická plasticita, která se projeví právě na cizím území (ochranaprirody.cz/o-aopk-cr/, 2019).

Invazní druhy jsou nejvíce zastoupeny na člověkem silně ovlivněných biotopech, nepotřebují žádnou velkou ekologickou adaptaci, protože jde o druhy s širokou ekologickou valencí vůči podmínkám stanovišť (ochranaprirody.cz/o-aopk-cr/, 2019). Migračními dráhami jsou silnice, železnice, cesty a vodní toky, které nabízí invazním druhům množství vhodných stanovišť. Při jejich postupu krajinou vznikají lokální centra. Počty těchto center se v krajině zvyšují. Velmi často jde o původně narušené biotopy (Pyšek, Tichý, 2001).

Tvorba databáze GloNAF (Global Naturalized Alien Flora), která zachycuje přehled nepůvodních rostlinných druhů z celého světa, přinesla poznatky o rostlinných invazích. Odhaduje se, že v různých oblastech světa v polopřirozených společenstvech je zhruba tisícovka invazních druhů (Pyšek, 2018).

Naše země v celosvětovém kontextu sice zdaleka nepatří mezi nejohroženější oblasti rostlinných invazí, ale i zde roste počet invazních druhů v přírodě (Pyšek, Tichý, 2001; Skálová, 2014). Pyšek (2018) zobrazuje intenzitu rostlinných invazí v ČR. Nejinvadovanější je okolí velkých městských aglomerací, těžbou narušená krajina v severních částech ČR a nížiny velkých řek v klimaticky teplých oblastech. Česká květena podle poslední, důkladné aktualizace z r. 2012 obsahuje celkem 1454 nepůvodních taxonů z nichž je 61 klasifikováno jako invazní (Skálová, 2014; Pyšek, 2018).

Studie globálních zákonitostí geografického rozšíření naturalizovaných flór, jejich taxonomické a fylogenetické složení a faktorů určujících rozdíly v druhové bohatosti mezi pevninou a ostrovy, uvedla existenci ohnisek výskytu světových invazí rostlin. Ohniska byla zjištěna v západní (hlavně oblast Kalifornie) a východní oblasti Severní Ameriky, severozápadní Evropě, jižní Africe, jihovýchodní Austrálie a na Novém Zélandu, v Indii a ostrovech Tichého oceánu (Pyšek, 2018). Studie uvádí seznam široce rozšířených druhů, které se vyskytují v hojné míře jako nebezpečné plevely (i v České republice). Přičemž zmiňována je také *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.

Odborníci předpokládají, že v budoucnosti bude invazí přibývat. Existuje řada legislativních nástrojů, které se snaží tento trend zpomalit se zatím míjí větším účinkem. I kdyby se podařilo nové introdukce omezit v následujících desetiletích bude invazních druhů přibývat, protože většina druhů po introdukci do nové oblasti potřebuje určitý čas na to, aby zdomácněla, a navíc se začala šířit. Mezi zavlečením a dobou, kdy začne mít invaze environmentální a ekonomické důsledky existuje zpoždění (Pyšek, 2018).

3 Cíle práce a hypotézy

Výzkum byl koncipován s cílem posoudit, zda antropicky podmíněné zasolení půdy podél silnic má významný vliv na pravděpodobnou migraci vybraných druhů rostlin rostoucích na těchto stanovištích. Za účelem získání co nejkompaktnějšího pohledu na tuto problematiku a jejího úspěšného řešení byly vytyčeny tři hlavní cíle:

1. Na základě pokusů ve skleníku s vybranými druhy rostlin stanovit jejich toleranci vůči salinitě půdy.
2. Porovnat experimentálně získaná data s reálnou situací v terénu (okraje silnic).
3. Ověřit migrační možnosti vybraných druhů rostlin podél silnic.

Na základě stanovení cílů výzkumu byly formulovány výzkumné problémy v podobě výzkumných otázek, které měly přispět k řešení problematiky.

- Jsou *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop a *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. opravdu halofytní druhy?
- Jaké hodnoty koncentrace zasolení půdy tolerují oba druhy velmi dobře a jsou schopné vytvořit generativní orgány se semeny, a naopak jaké hodnoty koncentrace mají na ně již negativní účinky?
- Jakých hodnot zasolení dosahuje půda v okolí silnic?
- Liší se hodnoty zasolení půdy se vzdáleností od vozovky?
- Liší se hodnoty zasolení půdy během ročních období?
- Liší se hodnoty zasolení půdy vzhledem ke způsobu vedení komunikace (násep, rovina)?
- Jsou výše hodnot zasolení půdy u silnic omezující pro populace obou druhů nebo naopak jsou jimi dobře tolerovány?
- Liší se od sebe jedinci populací v rozdílných vzdálenostech od vozovky?
- Liší se jedinci populací od silnic s jedinci kontrolních populací (z nezasolených ploch)?
- Jaké hodnoty koncentrace zasolení půdy jsou limitující pro klíčení semen obou těchto druhů?
- Umožňují hodnoty zasolení půdy u silnic v příslušném období vyklíčení semen a další vývoj semenáčků obou druhů rostlin?

Pro konkretizaci a zpřesnění výzkumu byla vytvořena hlavní hypotéza, která se rozdělila na hypotézy dílčí. Všechny hypotézy korespondují s výzkumnými problémy.

Hlavní hypotéza:

- Antropicky podmíněné zasolení půdy podél silnic má významný vliv na pravděpodobnou migraci druhu *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop a *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.

Dílčí hypotézy:

1. Druhy *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop a *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. patří mezi skupinu halofytů.
2. Nižší koncentrace zasolení jsou oběma druhy dobře tolerovány a nijak neomezují jejich růst i rozmnožování.
3. V případě půdy v okolí silnice půjde o mírné zasolení odpovídající hodnotám nad 4mS/cm (hodnocené podle USDA).
4. Hodnoty zasolení půdy s rostoucí vzdáleností od vozovky klesají.
5. Hodnoty zasolení půdy během roku klesají. Soli jsou z půdy během pozdního jara a léta prostřednictvím srážek vyluhovány. Podzimní hodnoty zasolení půdy jsou pak výrazně nižší.
6. Na hodnotách zasolení půdy se zcela jistě projeví způsob vedení komunikace.
7. Zasolení půdy u silnic oba druhy velmi dobře tolerují.
8. Jedinci populací v rozdílných vzdálenostech od vozovky se od sebe liší v hodnotách kvantitativních růstových ukazatelů i charakteristikách generativních orgánů.
9. Stejně tak se liší jedinci populací od silnic s jedinci kontrolních populací.
10. Vyšší koncentrace zasolení (2 % a nižší, Larcher, 1988) jsou pro klíčení semen obou druhů limitující.
11. Časově odpovídající hodnoty koncentrace zasolení v půdě v okolí silnic v období klíčení semen obou druhů nejsou nijak omezující.

4 Materiál a metodika

K experimentálním pracím byl využíván skleník, kultivační místnost, chladicí box a pokusná plocha v areálu dnešního Biologického centra AV ČR, v.v.i. v Českých Budějovicích. Prostory Biologického centra se nachází v nadmořské výšce 381 mn.m., (48° 98'N, 14° 46'E), s průměrnou roční teplotou 8,1 °C a průměrným úhrnem srážek 623 mm (meteostanice České Budějovice, provozovatel ČHMÚ).

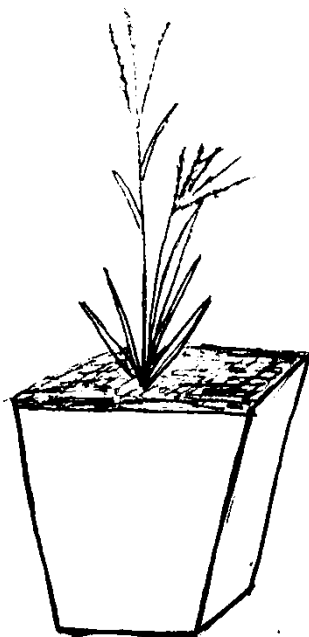
Terénní pokus probíhal na krajnicích silnice II. třídy č. 164, v úseku ve směru Jindřichův Hradec (40° 8'8"s.š., 15° 12'33"v.d.) – Strmilov (49° 9'43"s.š., 15° 12'33"v.d.). Silnice je v zimním období pravidelně solena více jak 10 let. Uváděná denní intenzita dopravy je 3001–5000 vozidel/24 hod (podle <http://rsd.cz>). Zmíněný úsek silnice se nachází převážně v nadmořské výšce 478–575 mn.m. Průměrná roční teplota této oblasti je 7,2 °C a průměrný úhrn srážek dosahuje 658,6 mm (meteostanice Jindřichův Hradec a meteostanice Kunžak, provozovatel Jihočeský kraj). Silnice prochází krajinou, která se vyznačuje dlouhým, teplým, suchým až mírně suchým létem, mírně teplým jarem a podzimem. Zimy jsou krátké, mírné, suché s krátkým trváním sněhové pokrývky. Geologickými substráty jsou žuly a granodiority (podle <http://czso.cz>), půdní typ kambizem (podle <http://mzp.cz>). Okolní krajiny vytvářejí mozaiku polí, luk a jehličnatých lesů (podle <http://geoportal.kraj-jihocesky.gov.cz>).

Pro výzkum byly vybrány druhy rosička krvavá – *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. a ježatka kuří noha – *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. Oba druhy patří k nebezpečným plevelům. V posledních letech byl zaznamenán jejich častý výskyt u silnic a na solí kontaminovaných půdách (podél chodníků, zdi i mezi dlažbou ve městech). *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. není na Ellenbergově seznamu halofytních druhů rostlin ani ji nezmiňují někteří další autoři zabývající se ekologií stanovišť se slanými půdami, přesto se ale jeví jako fakultativní halofyt. *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. je na seznamu invazních nepůvodních druhů v ČR a je označována jako třetí nejškodlivější plevel světa. Oba druhy jsou jednoleté pozdně jarní trávy z čeledi *Poaceae*. Jejich společnými vlastnostmi jsou velká plasticita a generativní rozmnožování.

Pro manipulativní nádobové i plošné pokusy byly vitální semenáčky obou druhů odebrány v bezprostředním okolí Českých Budějovic a zasazeny do připravených květináčů nebo vysázeny na pokusnou plochu či na plošky v okolí silnic. Nepoškozené, zralé obilky pro nádobový pokus klíčení byly také získány z jedinců rostoucích na polích v okolí Českých Budějovic. Pro terénní pokus byly využity přirozeně se vyskytující populace obou druhů u silnice v úseku Jindřichův Hradec – Strmilov.

4.1 Zjišťování tolerance obou druhů vůči zasolení půdy

K pěstování byly použity plastové květináče o rozměrech 4x4x6 cm, do kterých byl umístěn filtrační papír a 60 ml půdní směsi složené z běžného zahradního substrátu a písku v poměru 2:1. Výsledná půdní směs byla proseta sítím o rozměru 3x3 mm. Pro každou variantu zasolení bylo uvedeným způsobem připraveno celkem 144 květináčů, které byly rozděleny do tří zavlažovacích zásobníků. Semenáčky *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. a *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. byly jednotlivě zasazeny do připravených květináčů (Obr. 5). Poté co se semenáčky ujaly, došlo k zalití roztokem chloridu sodného, a to v množství 20 ml/květináč (celkem 1 l roztoku na jeden zavlažovací zásobník). Hodnoty koncentrací roztoku chloridu sodného byly: K 0 g/l, A 1,25 g/l B 2,5 g/l C 5 g/l D 10 g/l a E 20 g/l. Kontaminace solným roztokem byla provedena pouze jednou. Po dobu kultivace byly rostliny zalévány přes zavlažovací zásobník stejným množstvím odstáté čisté vody. Pro jednotlivá měření (destruktivní charakter) bylo vždy použito 12 rostlin. Byly sledovány tyto charakteristiky: délka nadzemní a podzemní části rostliny, množství zdravých zelených a poškozených listů, počet generativních orgánů, dále pak hmotnost sušiny nadzemní a podzemní části.



Obr. 5 - Nákres kultivace mladých rostlinek ve skleníku

4.2 Stanovení vzcházivosti semen v solí kontaminovaném prostředí

Laboratorní pokus byl realizován jako nádobový. Jako prostředí ke vzcházení bylo použito 30 plastových misek o velikosti 16x11x5 cm. Na dně misek byly vytvořeny drenážní otvory a vloženy dvě vrstvy filtračního papíru. Poté byla nasypána půdní směs. Použit byl běžný zahradní substrát smíšený s říčním pískem v poměru 2:1. Směs byla následně proseta sítem o velikosti ok 3x3 mm a vsterilizována. Misky byly vyplněny touto půdní směsí přibližně do 40 % svého objemu. Do každé misky bylo uloženo a půdou zasypáno 150 nepoškozených semen *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. nebo *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. Semena byla 24 hodin předem ošetřena metodou HWT. Metoda HWT je způsob ochrany semen před širokým spektrem patogenů na semenech a jedná se o moření horkou vodou. Semena v síťových sáčcích se ponoří do vody s teplotou okolo 50 °C na určitou dobu (15–25 min.). Přesná regulace teploty je nutná, aby nedošlo k poškození semen a patogeny byly zničeny. Následně se semena nechají vyschnout. Dvacetpět misek se semeny bylo zalito vždy 107 ml roztoku chloridu sodného o následujících koncentracích: A 1,25 g/l B 2,5 g/l C 5 g/l D 10 g/l a E 20 g/l. Pět misek bylo zalito pouze 107 ml destilované vody a použito jako kontrolní vzorek. Následně (začátek prosince) byly všechny misky se semeny uloženy do chladicího boxu se stálou teplotou 5 °C a ponechány zde 4 měsíce. Počátkem dubna byly pokusné misky vyjmuty a 24 hodin ponechány v laboratorní teplotě (21 °C). Následující den byla půda se semeny důkladně provlhčena destilovanou vodou. Misky byly uloženy do kultivační místnosti o teplotě 25 °C. Semena začala vzcházet po deseti dnech (Obr. 6, 7). První měření a sběr (destruktivní charakter) byl proveden dva dny po zaznamenání vzcházení (dvanáctý den od uložení misek do kultivační místnosti). Vzcházející rostlinky byly spočítány, vytaženy z půdy a byly změřeny délky kořenové a nadzemní části. Další sběry byly provedeny pravidelně vždy dva dny po objevení se nových vzcházejících rostlinek. Pokus byl ukončen počátkem května, kdy již nevzešlo žádné semeno.



Obr. 6 - Vzcházení rostlinek Digitaria sanguinalis (L.) Scop.



Obr. 7 - Vzcházení rostlinek Digitaria sanguinalis (L.) Scop.

4.3 Studium šíření semen

Vzhledem ke generativnímu způsobu rozmnožování obou druhů rostlin, byla jako vhodná metoda pro zjištění šíření semen, zvoleno použití semenných pastí.

Pokusná plocha byla zcela zbavena vegetačního krytu (použití herbicidu, hluboké přerýtky, odstranění zbytků plevelů). V části plochy byla vymezena menší ploška, čtvercového tvaru o velikosti strany 70 cm. Do této plošky bylo rovnoměrně vysázeno 50 ks nepoškozených vitálních sazeniček *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. Do okolí této plošky bylo rovnoměrně v 8 směrech do půdy umístěno 32 označených semenných pastí. Tento způsob umožnil zachytit působení všech směrů větru. Pasti první řady kopírovaly bezprostřední okolí vymezené plošky s mateřskými rostlinkami. Další řady pastí byly rozmístěny v pravidelných vzdálenostech po 50 cm (Obr. 9). Cílem bylo co nejvíce pokrýt plochu v okolí matečné populace. Pasti k zachycení malých a lehkých diaspor *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. byly vyrobeny podle schématu Bullocka (2000) z pet lahví a plastových kelímků (Obr. 8). Pasti byly do půdy umístěny na začátku července, kdy se začaly u rostlin objevovat první generativní orgány. Tkanina z pastí s nachytným materiálem byla sbírána a nahrazena novou po čtrnácti dnech celkem 5x (Obr. 10). Obsah pastí byl vysušen. Po vysušení byl nachytný materiál rozebrán a byly určeny a spočítány diaspory *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. Stejný postup při zjišťování šíření semen byl použit i pro druh *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.



Obr. 8 - Past na semena



Obr. 9 - Rozmístění pastí okolo mateřské populace rostlin



Obr. 10 - Zachycená semena uvnitř pasti

4.4 Studium gradientu a dynamiky zasolení půdy během roku v bezprostředním okolí silnic

Za účelem získání konkrétních hodnot gradientu zasolení a dynamiky zasolení půdy během roku v bezprostředním okolí silnic bylo vybráno šest lokalit. Tři lokality zohledňovaly způsob vedení komunikace – rovina a tři lokality způsob vedení komunikace – násep. Lokality korespondovaly s výskytem obou druhů. Vzorování bylo prováděno ve vzdálenosti 25, 75 a 125 cm od vnějšího kraje vozovky. Půdní vzorky pro analýzy byly odebrány pomocí sondovací tyče o průměru 4,5 cm do hloubky 0-10 cm. Vzorky půdy byly vysušeny na vzduchu při laboratorní teplotě 21°C. Následně byla půda proseta přes síto o velikosti ok 3x3 mm a vytvořena tak jemnozem určená pro laboratorní analýzy. U každého vzorku byly určovány tyto půdní proměnné prostředí: aktivní a výměnná půdní reakce a obsah sodných a chloridových iontů. Půdní reakce byly stanoveny potenciometricky. Koncentrace sodných iontů ve vzorcích z prvních dvou odběrů byla stanovena ve výluhu 36 % HCl (10 g půdy, 50 ml činidla). Následně vzorky analyzovány plamenovou fotometrií. U vzorků z třetího odběru byla koncentrace sodných iontů stanovena ve výluhu 1M NH₄Cl (třífázová extrakce, 2,5 g půdy: 50 ml činidla). Vzorky byly poté analyzovány optickým spektrometrem s indukčně vázaným plazmatem na obsah bazických iontů (ICP PU 7450, LEEMANS LABS a THERMO JARREL ASH). Koncentrace chloridových iontů ve vzorcích z prvního a druhého odběru byla stanovena metodou podle Mohra ve výluhu redestilovanou vodou (50 g půdy : 250 ml redestilované vody). Ve vzorcích z třetího odběru byla stanovena ve výluhu destilovanou vodou (třífázová extrakce, 2,5 g půdy: 50 ml destilované vody). Vodivost půdy (konduktivita) byla měřena přístrojem WET – 2 SENSOR přímo v terénu současně při odběru půdních vzorků. Pro získání přehledu o změnách hodnot uváděných půdních proměnných prostředí během roku byly odběry vzorků zopakovány stejným způsobem v těchto obdobích: po roztání sněhu a ukončení zimní údržby solením (28.2.2014), v červnu (2.6.2014) a před prvním solením (2.10.2014).

4.5 Zjišťování vlivu zasolení půdy na výskyt, vývoj a rozmnožování druhů *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. a *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. podél silnic

Pro terénní pokus zjištění vlivu zasolení půdy na výskyt, vývoj a rozmnožování druhu *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. a *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. byly zvoleny dvě různé metodiky. Metodika č. 1 spočívala ve vysazování mladých rostlinek sledovaných druhů plevelů na pět vyměřených plošek o velikosti 50x50 cm postihující oblast od okraje vozovky po vzdálenost 250 cm na jednom stanovišti (Obr. 11). Celkem bylo založeno šest stanovišť vždy s pěti výzkumnými ploškami. Tři stanoviště byly založeny v úseku silnice České Budějovice – Veselí nad Lužnicí a tři v úseku Hluboká nad Vltavou – Týn nad Vltavou. Tři kontrolní plošky o velikosti 50x50 cm byly vyměřeny na pokusné ploše v areálu dnešního Biologického centra AV ČR v Českých Budějovicích. Na plošky bylo vysázeno 1650 mladých rostlinek *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. (tj 50 ks rostlinek na plošku). Byl sledován jejich růst a vývoj na stanovištích. V pravidelných čtrnáctidenních intervalech bylo z půdy vyjmuta vždy 10 rostlinek z jednotlivých plošek u kterých byly sledovány tyto růstové charakteristiky: délka

nadzemní a podzemní části rostliny, hmotnost sušiny nadzemní a podzemní části rostliny, výčet květenství, dále pak délka a hmotnost sušiny květenství. Bohužel při této metodice došlo již ze začátku zahájení experimentu k odumření značného množství jedinců a získaná data neodpovídala očekávanému výsledku měření. Z tohoto důvodu byla zvolená metodika zavrhnuta a druh *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. nebyl tímto způsobem testován. Následující vegetační sezónu byla pro experiment zvolena metodika č. 2, která byla založena na využití přirozeného výskytu četné populace obou druhů plevelů (Obr. 12). Byl zvolen úsek silnice č. 164 (silnice II. třídy, pravidelné solení více jak 10 let) mezi obcí Jindřichův Hradec a obcí Strmilov, kde se oba druhy vyskytovaly v četné míře. V úseku podél silnice bylo založeno šest výzkumných plošek (tři plošky pro každý druh zvlášť). U *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. byla každá ploška rozdělena do šesti čtverců o velikosti strany 50 cm. Čtverce byly orientovány tak, aby zachytily výskyt *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. a umožnily měření příslušných charakteristik ve třech vzdálenostech od asfaltového povrchu silnice. Tři čtverce byly využívány k měření délek nadzemní a podzemní části jedinců, šlo o destruktivní sběr dat (označení plošek D). Tři byly použity k získání dat o květenstvích (označení plošek GO). Výzkumné plošky pro *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. byly rozděleny stejným způsobem do čtyř čtverců. Byl tak zohledněn výskyt druhu do menší vzdálenosti od vozovky. Design výzkumných plošek zachycuje obr. č. 13 a 14. Kontrolní plošky byly založeny v prostředí mimo okolí silnic (břeh řeky Nežárky a cyklostezka v jejím okolí, která se v zimě neudrzuje). U obou druhů byly sledovány tyto charakteristiky: pokryvnost druhu v jednotlivých ploškách, délka nadzemní a podzemní části rostliny, hmotnost sušiny nadzemní a podzemní části rostliny, výčet květenství, dále pak délka a hmotnost sušiny květenství. V období, kdy téměř všichni jedinci tvořili květenství byl dále zjišťován počet květenství na plošku, jeho průměrná délka, průměrná hmotnost sušiny květenství, počet semen na květenství (z dat byla dopočítávána a zjišťována HTS a reprodukční schopnost). Tato data byla získána z vymezených plošek pro sběr květenství. Měření délky nadzemní a podzemní části rostliny a délky u případně se vyskytujících květenství proběhlo celkem 4x během vegetačního období obou druhů (vždy v rozmezí 20 kalendářních dnů). K měření bylo pokaždé použito deset jedinců z jednotlivých čtverců určených pro tato destruktivní měření.



Obr. 11- Ukázka vysazení Echinochloa crus-galli (L.) P. Beauv. v okolí silnice



Obr. 12 - Mladé rostlinky Digitaria sanguinalis (L.) Scop. v okolí silnice (přirozený výskyt)

	0	50	100	150
S		D	D	D
S		GO	GO	GO

Obr. 13 - Design výzkumných plošek pro *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. S – silnice, D – měření biomasy, GO – data o květenství.

	0	50	100
S		D	D
S		GO	GO

Obr. 14 - Design výzkumných plošek pro *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. S – silnice, D – měření biomasy, GO – data o květenství.

4.6 Statistická analýza

4.6.1 Zjišťování tolerance druhů *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. a *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.

Pro statistické zpracování byly k dispozici tyto charakteristiky rostlin: délka nadzemní a podzemní části rostliny, množství zdravých zelených a poškozených listů, počet generativních orgánů, dále pak hmotnost sušiny nadzemní a podzemní části.

Zjištěná data byla statisticky vyhodnocena jednofaktorovou analýzou variance (Anova). Všechny statistické testy byly provedeny na úrovni statistické významnosti 0,05.

Pro statistickou analýzu byl použit program Statistica.

4.6.2 Stanovení vzházivosti semen *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. a *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. v solí kontaminovaném prostředí

Pro statistické zpracování byly k dispozici počty vzešlých semen v jednotlivých variantách pokusu a délky podzemních a nadzemních částí vzházejících rostlinek.

Vzhledem k tomu, že data nesplňovala podmínky pro analýzu variance, byl použit Kruskal Wallisův test. Pro mnohonásobné porovnání byl použit Dunnův test.

Analýzy byly provedeny s využitím statistického programu R (R CoreTeam, 2018).

4.6.3 Analýza šíření semen *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. a *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.

Pro statistické zpracování byly k dispozici počty semen, které byly zachyceny v semenných pastech v různých vzdálenostech od rostliny a v různých směrech. Směry jsou popsány pomocí osmi světových stran (S, SV, SZ, J, JV, JZ, V, Z), sledované vzdálenosti jsou pak čtyři: A 0-50 cm, B 100 cm, C 150 cm a D 200 cm. Úkolem tohoto zpracování bylo odhadnout vzdálenost, do které se semena sledovaných rostlin šíří. Odhad byl proveden u obou rostlin pro každý z osmi směrů zvlášť.

Naměřené počty semen byly zpracovány do grafu tak, že na vodorovnou osu byla zanesena vzdálenost od rostliny v centimetrech a na svislou osu počet semen, který byl v dané vzdálenosti zjištěn. Tyto body pak byly proloženy exponenciální křivkou pomocí metody nejmenších čtverců. Tak byla získána exponenciální funkce tvaru $y = ae^{-bx}$, kde x představuje vzdálenost v centimetrech a y pak odhad počtu semen ve vzdálenosti x . Nalezené exponenciální funkce i vypočtené vzdálenosti byly pak zpracovány také graficky pro přehlednost a lepší orientaci ve výsledcích.

Analýzy byly provedeny v programu Excel.

4.6.4 Půdní charakteristika v závislosti na vzdálenosti od silnice

Pro statistické zpracování byly k dispozici výsledky měření několika půdních faktorů v různých vzdálenostech od silnice. Jedná se o tyto faktory: konduktivita v mS/cm (EC), aktivní pH (pH_{H_2O}), výměnné pH (pH_{KCl}) a obsah sodných (Na^+) a chloridových (Cl^-) iontů v mg/kg. Dle vzdálenosti od silnice byla měření rozdělena do tří skupin, a to A do 50 cm, B od 50 cm do 100 cm a C od 100 cm do 150cm. Měření bylo provedeno v různých ročních obdobích (a to ve sledu podzim–jaro–léto–podzim–jaro). Závislost hodnot sledovaných faktorů na vzdálenosti místa měření od silnice byla analyzována zvlášť pro každé sledované roční období. Vzhledem k velkému počtu měření v některých skupinách dle vzdálenosti a v některých případech i vzhledem k vysoké variabilitě a heteroskedasticitě dat byl použit neparametrický Kruskal-Wallisův test. Pro mnohonásobné porovnání středních hodnot sledovaných parametrů v jednotlivých skupinách dle vzdálenosti byl zvolen Dunnův test mnohonásobného porovnání, který porovnává všechny kombinace dvojic sledovaných skupin. Všechny statistické testy byly provedeny na hladině významnosti 0,05 ve statistickém programu R (R CoreTeam, 2018).

4.6.5 Vliv faktorů silničního stanoviště na výskyt, růst a rozmnožování *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop a *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.

Vliv zasolení půdy na rostliny byl hodnocen mnohorozměrnými metodami v programu Canoco 5 (Ter Braak & Šmilauer 2012). Na rostlinách byly hodnoceny parametry: délka nadzemní části (DS), hmotnost sušiny nadzemní části (MS), délka podzemní části (DR), hmotnost sušiny podzemní části (MR), počet vytvořených generativních orgánů (NGO) a poměr hmotností nadzemní a podzemní části (R/S). Uvedené parametry rostlin byly použity jako závislé proměnné. Jako vysvětlující environmentální proměnné byla použita konduktivita a vzdálenost od silnice, která byla testována buď jako kategoriální proměnná nebo jako kvantitativní proměnná na ordinální škále. Parametry rostlin byly nejprve analyzovány pomocí PCA (analýza hlavních component). Efekt konduktivity a vzdálenosti od silnice byl vyhodnocen pomocí RDA (redundanční analýza) a testován Monte Carlo permutačním testem. Vzhledem k tomu, že měřené parametry rostlin byly v různých jednotkách, byla použita standardizace a centrování.

Data vypovídající o generativních orgánech: počet generativních orgánů na plošku, počet semen na generativní orgán, hmotnost tisíce semen a reprodukční schopnost plošky, byla hodnocena pomocí analýzy variance Anova, v některých případech byla data transformována logaritmickou (přirozený logaritmus) transformací. Pro mnohonásobné porovnání byl použit Tukeyho test.

5 Výsledky a diskuse

5.1 Potvrzení tolerance obou druhů vůči zasolení půdy a zjištění stupně této tolerance

U obou druhů plevelů byly kvantifikovány růstové charakteristiky a tvorba generativních orgánů a posouzen vliv koncentrace zasolení půdy na jejich růst a rozmnožování.

U druhu *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop byl zaznamenán významný statistický rozdíl (metoda Anova) v tvorbě podzemní i nadzemní biomasy při nižších a vyšších koncentracích zasolení půdního substrátu. Někteří jedinci vytvořili generativní orgány i při působení vyšší koncentrace zasolení, která měla statisticky prokazatelně inhibující účinky na podzemní i nadzemní biomasu.

Výsledky spolu s diskusí jsou uvedeny v publikaci 1, 2 (viz. Kapitola 8).

Druh *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. reagoval na jednotlivé varianty pokusu velmi podobně. I zde byl zaznamenán významný statistický rozdíl (metoda Anova) v tvorbě podzemní i nadzemní biomasy při nižších a vyšších koncentracích zasolení půdního substrátu. Varianta pokusu s nejvyšší koncentrací soli měla na tento druh inhibující následky již od prvních dní vystavení rostlinek jejímu působení. Většina rostlinek v průběhu pokusu brzy uhynula.

Výsledky jsou uvedeny v publikaci č. 3 (viz. Kapitola 8).

Laboratorní pokusy potvrdily, že oba druhy tolerují chlorid sodný v půdě. Nižší koncentrace chloridu sodného (1,24 g/l, 2,5 g/l, 5 g/l) v půdě nijak neomezovaly růst a vývoj jedinců obou druhů. Manipulativní pokusy prokázaly úspěšný nárůst podzemní i nadzemní biomasy. Většina jedinců vytvořila při těchto koncentracích i generativní orgány a zralá semena. Vyšší koncentrace (10 g/l, 20 g/l) již však způsobily zpomalení růstu a znatelné ztráty na podzemní i nadzemní biomase (Šerá et al., 2011; Nováková et al., 2012). Někteří jedinci *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop i přes značné ztráty biomasy vytvořily generativní orgány se semeny. U jedinců druhu *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. byl dokonce růst zcela zastaven a rostliny uhynuly (Šerá et al., 2014). Oba druhy jsou fakultativními halofyty. Ke svému růstu nevyžadují zasolenou půdu, ale dokáží v ní růst, vytvořit generativní orgány a vysemenit se.

5.2 Vzcházivost semen *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. a *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. v solí kontaminovaném prostředí.

Semena druhu *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. dobře vzcházela při nižších koncentracích (1,25g/l, 2,5g/l) zasolení půdy. Vzcházivost zde dosáhla 16,9 – 20,8 % (u kontrolního vzorku byla 22,4%). Rozdíl v délce podzemní i nadzemní části vzešlých rostlinek v porovnání s kontrolním vzorkem nebyl statisticky významný. Při koncentraci zasolení 5 g/l a 10 g/l semena a vzešlé rostlinky již vykazovaly inhibiční reakce. Vzcházivost semen při těchto koncentracích poklesla a pohybovala se v rozsahu 4,5 – 7,2 % a byl zde také prokázán statisticky významný rozdíl v délce nadzemní části vzešlých rostlinek v porovnání s kontrolou. Rozdíl délek podzemní části nebyl statisticky prokázán. Fatální následky však měla koncentrace 20 g/l, kdy nevzešlo žádné semeno (Obr.15, 16). Vzcházivost semen v solí kontaminovaném prostředí byla hodnocena pomocí Kruskal Wallisova testu a pro mnohonásobné porovnání byl použit Dunnův test.

Semena *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. v porovnání se semeny *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. vzcházela hůře. V kontrolním vzorku vzešlo pouze 75 semen (10%) z celkového počtu 750 (100%). Přesto, bylo možné pozorovat, že vzcházivost semen v ostatních variantách pokusu měla většinou sestupný charakter se vzrůstajícím zasolením substrátu. U varianty B (2,5g/l) a C (5 g/l) se vzcházivost semen lišila pouze o 0,5 %, ale ve prospěch vyšší koncentrace zasolení – tedy variantu C (5 g/l). Při nižších hodnotách zasolení půdy (1,25g/l, 2,5g/l, 5 g/l) dosáhla vzcházivost 5–7,9 %. Při koncentraci chloridu sodného 10 g/l vzcházející rostlinky již vykazovaly inhibiční reakce. Vzcházivost semen zde poklesla na 1,2 %. Ve variantě pokusu 20 g/l chloridu sodného nevzešlo žádné semeno. Rozdíl v délkách nadzemní a podzemní části rostlinek v porovnání s kontrolou nebyl statisticky významný ani u jedné z koncentrací (Obr. 17, 18). K vyhodnocení vzcházivosti semen *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. byl také použit Kruskal Wallisův test a pro mnohonásobné porovnání Dunnův test.

Kruskal-wallis rank sum test

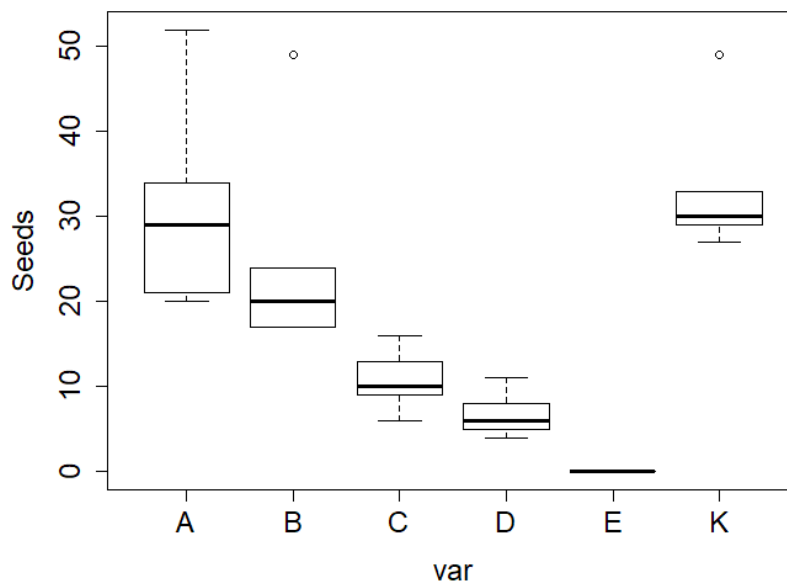
data: Seeds by var

Kruskal-wallis chi-squared = 25.471, df = 5, p-value = 0.000113

Dunn (1964) Kruskal-wallis multiple comparison p-values adjusted with the H olm method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	A - B	0.6483847	5.167362e-01	1.000000000
2	A - C	2.1072502	3.509590e-02	0.315863088
3	B - C	1.4588655	1.446021e-01	0.867612758
4	A - D	2.6835921	7.283591e-03	0.080119497
5	B - D	2.0352074	4.183000e-02	0.334640033
6	C - D	0.5763419	5.643841e-01	1.000000000
7	A - E	3.7462226	1.795173e-04	0.002513243
8	B - E	3.0978379	1.949380e-03	0.025341945
9	C - E	1.6389724	1.012190e-01	0.708533101
10	D - E	1.0626304	2.879496e-01	1.000000000
11	A - K	-0.2161282	8.288878e-01	0.828887800
12	B - K	-0.8645129	3.873062e-01	1.000000000
13	C - K	-2.3233784	2.015883e-02	0.201588328
14	D - K	-2.8997203	3.734957e-03	0.044819487
15	E - K	-3.9623508	7.421539e-05	0.001113231

Obr.15 – Výstup z výsledného modelu analýzy variance závislosti vzházivosti semen *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. na kontaminaci půdy solí z programu R (R Core Team, 2018)

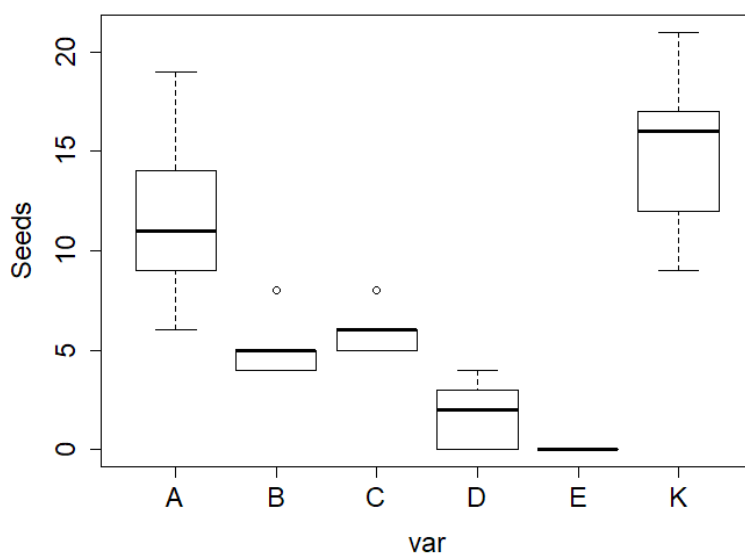


Obr.16 – Množství vzešlých semen *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. (seeds) zjištěné pro jednotlivé koncentrace NaCl (A–1,25g/l, B - 2,5g/l, C–5 g/l, D–10 g/l, E–20 g/l, K – kontrola)

Kruskal-wallis rank sum test
 data: Seeds by var
 Kruskal-wallis chi-squared = 26.034, df = 5, p-value = 8.79e-05
 Dunn (1964) Kruskal-wallis multiple comparison
 p-values adjusted with the Holm method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	A - B	1.7389746	8.203923e-02	0.5742746416
2	A - C	1.2317737	2.180336e-01	0.8721345807
3	B - C	-0.5072009	6.120139e-01	1.0000000000
4	A - D	3.0250912	2.485582e-03	0.0298269803
5	B - D	1.2861166	1.984024e-01	0.9920118304
6	C - D	1.7933175	7.292217e-02	0.5833773216
7	A - E	3.6047494	3.124543e-04	0.0043743601
8	B - E	1.8657748	6.207288e-02	0.5586559038
9	C - E	2.3729757	1.764542e-02	0.1940996579
10	D - E	0.5796582	5.621451e-01	1.0000000000
11	A - K	-0.4709723	6.376605e-01	0.6376605290
12	B - K	-2.2099469	2.710885e-02	0.2710885047
13	C - K	-1.7027459	8.861562e-02	0.5316937393
14	D - K	-3.4960635	4.721764e-04	0.0061382927
15	E - K	-4.0757217	4.587186e-05	0.0006880779

Obr.17 – Výstup z výsledného modelu analýzy variance závislosti vzcházejivosti semen *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. na kontaminaci půdy solí z programu R (R Core Team, 2018)



Obr.18 – Množství vzešlých semen *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. (seeds) zjištěné pro jednotlivé koncentrace NaCl (A–1,25 g/l, B–2,5g/l, C–5 g/l, D–10 g/l, E–20 g/l, K – kontrola)

Klíčení semen ve slaném prostředí je citlivou a vysoce důležitou fází života populací halofytů. Zvláště pak pro jednoleté druhy, které mají pouze jedinou možnost v jejich životní historii reprodukce (Ungar, 1991). Semena a semenáčky halofytů musí mít odpovídající odolnost k zasolení (Larcher, 1988) a jejich semena musí tolerovat vyšší koncentraci zasolení než glykofyty (Grigore, 2012). Druhy *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. a *Echinochloa crus-galli*

(L.) P. Beauv. na základě své časté přítomnosti na místech, kde lze kontaminaci půdy solí předpokládat, jako jsou např. krajnice a středové pásy komunikací nebo trávníky a spáry mezi dlažbou ve městech, mohou být považovány za fakultativní halofyty, což se podařilo potvrdit při provedených manipulativních pokusech. Pokusy, pomocí kterých se zjišťovala vzcházivost semen obou druhů rostlin v zasolené půdě, ověřily určité tolerance vůči nízké i vyšší míře zasolení u obou druhů. Hraniční koncentrace chloridu sodného pro klíčení a růst je 2 % a nižší. Pouze několik málo halofytů vyklíčí při koncentraci 3 % (Larcher, 1988). V případě *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. a *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. pokusy prokázaly, že koncentrace 20 g/l (1,96%) je již příliš vysoká a semena nejsou schopna vyklíčit. Limitující koncentrací pro oba druhy rostlin se jeví koncentrace 10 g/l (0,99%), kdy vzcházivost viditelně poklesla.

Půda v okolí silnic obsahuje největší množství rozpustných solí ze zimního ošetření vozovek v období zimy a brzy z jara. Pak je sůl z půdy postupně vymývána a podzemní hodnoty zasolení tak dosahují nejnižších hodnot (Paulerová, 2007). Druhy *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. a *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. jsou slaným prostředím nejvíce ovlivněny ve fázi semenné banky, klíčení semen a prvotního růstu semenáčků. Koncem května a v následujících měsících, které jsou pro tento druh hlavním vegetačním obdobím, kdy dochází k rychlému nárůstu především nadzemní části biomasy a vytvoření generativních orgánů, jsou hodnoty zasolení nižší a podle hodnotících tabulek buď jde o slabě zasolenou půdu nebo nezasolenou půdu.

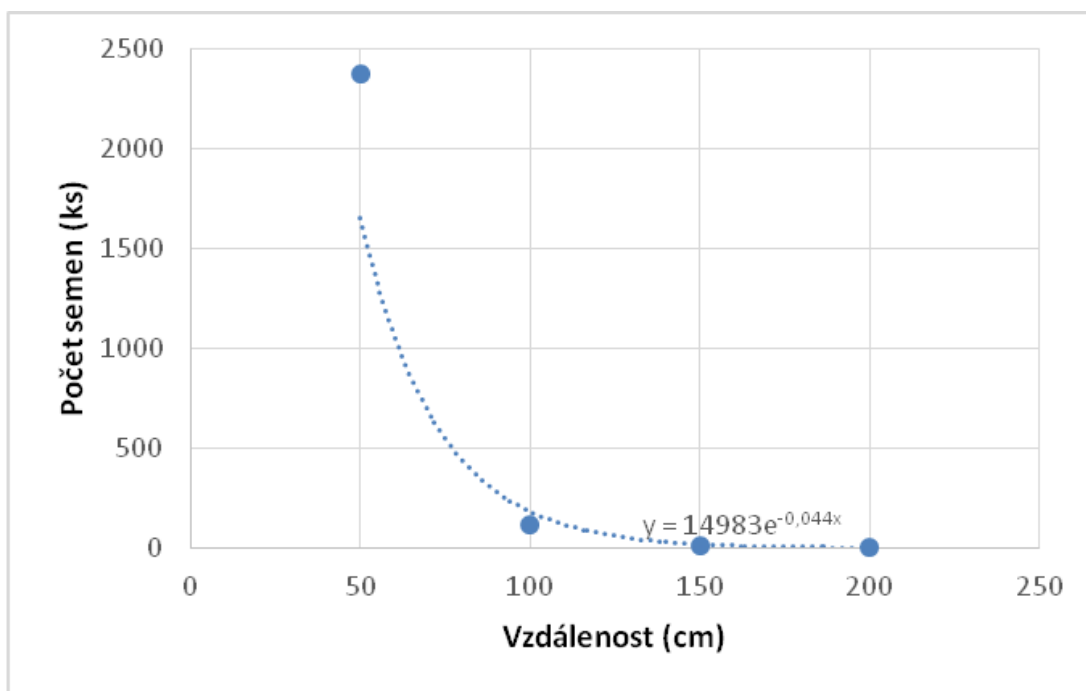
Z porovnání výsledků manipulativních pokusů vzcházivosti semen obou druhů rostlin s výsledky měření zasolení půdy v bezprostředním okolí silnice byly vyvozeny následující závěry:

Semena obou druhů plevelů dobře tolerují zasolení půdního prostředí v rozmezí hodnot E_c 1,953–7,813 mS/cm. Nejvyšší hodnoty E_c půdy v okolí silnic byly naměřeny v rozmezí 5,57–2,18 mS/cm (brzké jaro). Z této skutečnosti lze usuzovat, že semena obou druhů si za těchto podmínek mohou téměř bez problémů dobře zachovat svou klíčivost a vzejít během vegetačního období.

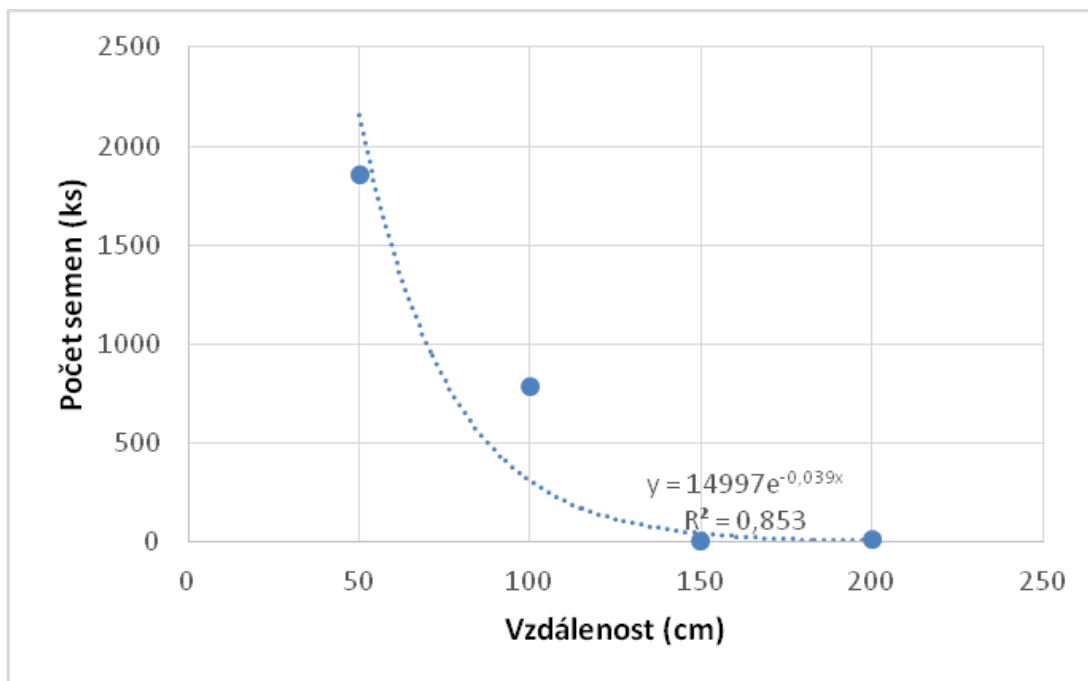
5.3 Šíření semen *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. a *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.

Z naměřených dat a jejich statistické analýzy byla odhadnuta situace šíření semen obou druhů rostlin na krátké vzdálenosti nejprve pro všechny směry dohromady (Obr. 19, 20) a poté také pro každý z 8 směrů zvlášť (Obr. 21-36). V případě druhu *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. byla na základě exponenciálního modelu odhadnuta maximální vzdálenost šíření semen do 99,9 cm v severozápadním směru od simulované mateřské populace. Průměrná výška mateřských rostlin byla 50,5 cm. Pro všechny směry dohromady je nejpravděpodobnější odhadnutá vzdálenost šíření semen *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. do 68 cm od mateřské populace (Obr. 19, Tab. 1).

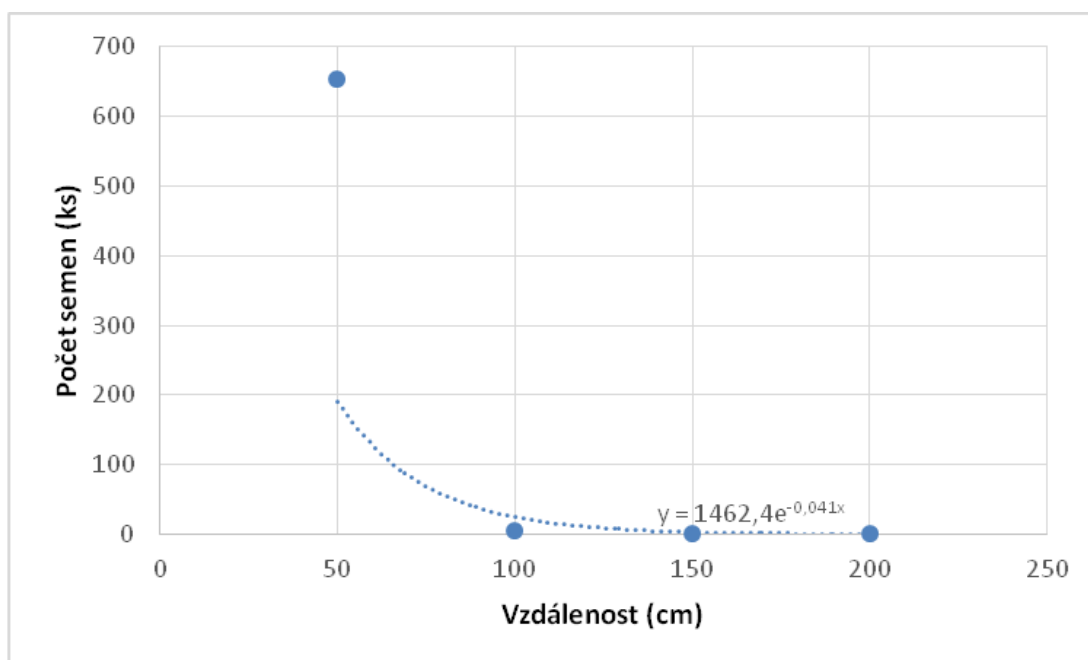
V případě druhu *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. byla maximální vzdálenost dopadu semen odhadnuta do vzdálenosti 93,6 cm v západním směru od mateřské populace. Průměrná výška nadzemní části mateřských rostlin byla 91 cm. Z exponenciální křivky pro všechny směry dohromady vyplývá odhadnutá vzdálenost 76 cm (Obr. 20, Tab. 2).



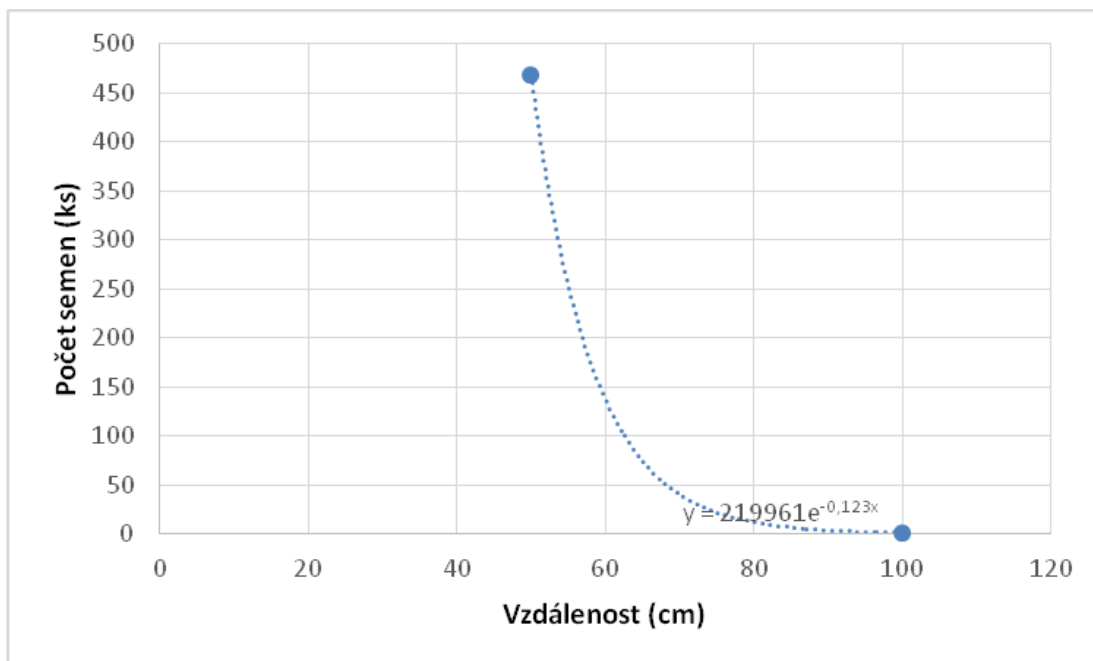
Obr. 19 - Graf nalezené exponenciální funkce pro výpočet maximální pravděpodobné vzdálenosti šíření semen všemi směry pro druh *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.



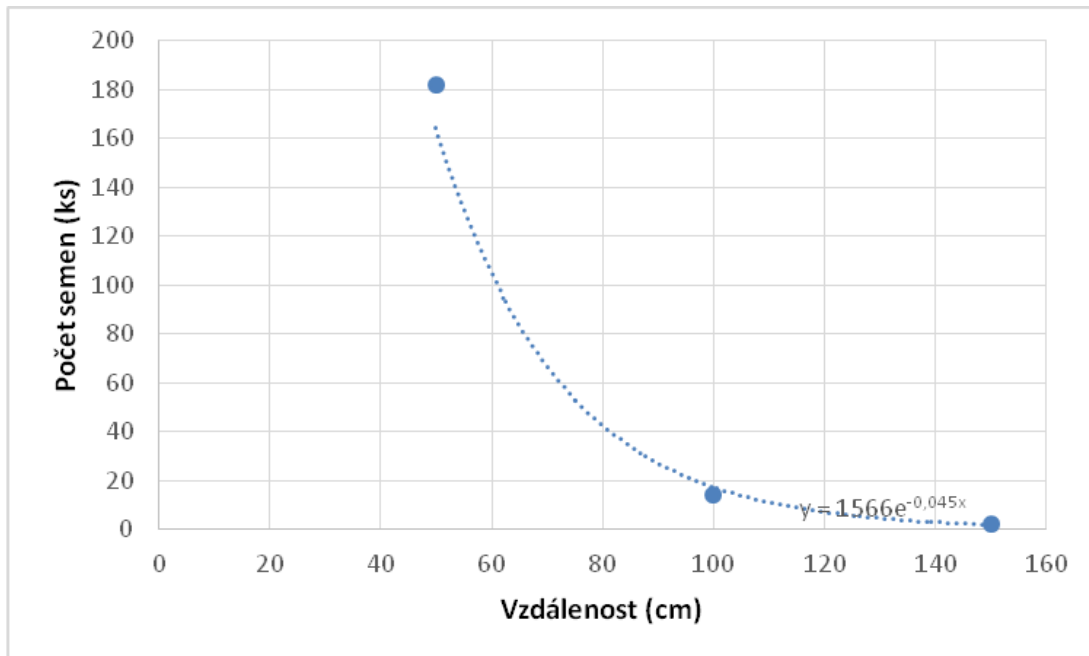
Obr. 20 - Graf exponenciální funkce pro výpočet maximální pravděpodobné vzdálenosti šíření semen všemi směry pro druh *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.



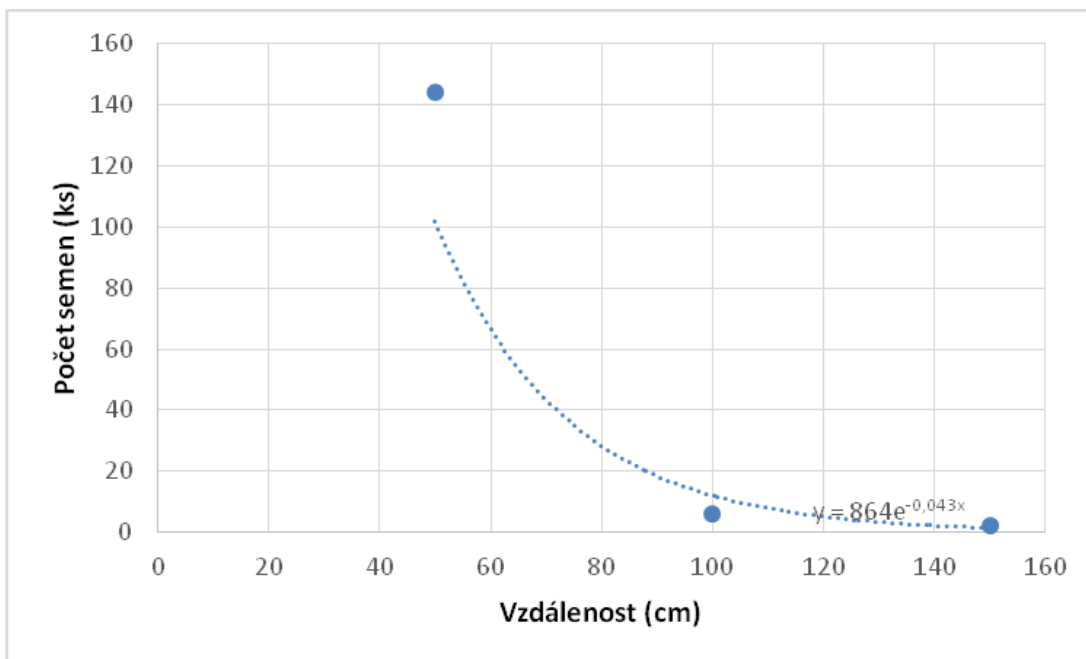
Obr. 21 – Graf nalezené exponenciální funkce pro výpočet maximální pravděpodobné vzdálenosti šíření semen v jižním směru pro druh *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.



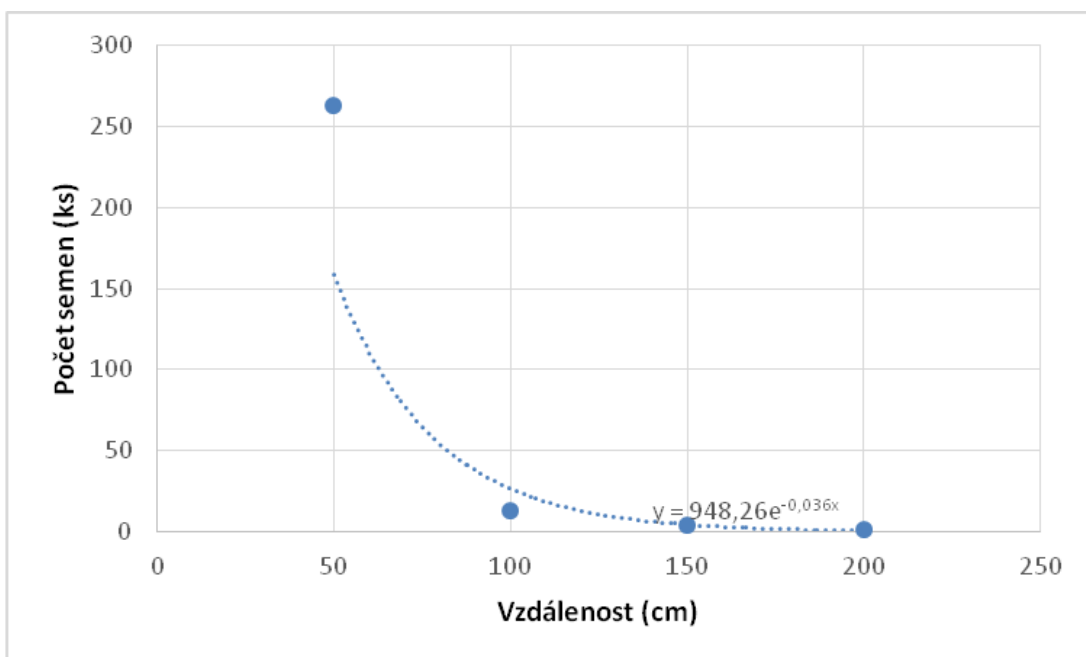
Obr. 22 – Graf nalezené exponenciální funkce pro výpočet maximální pravděpodobné vzdálenosti šíření semen v jihovýchodním směru pro druh *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.



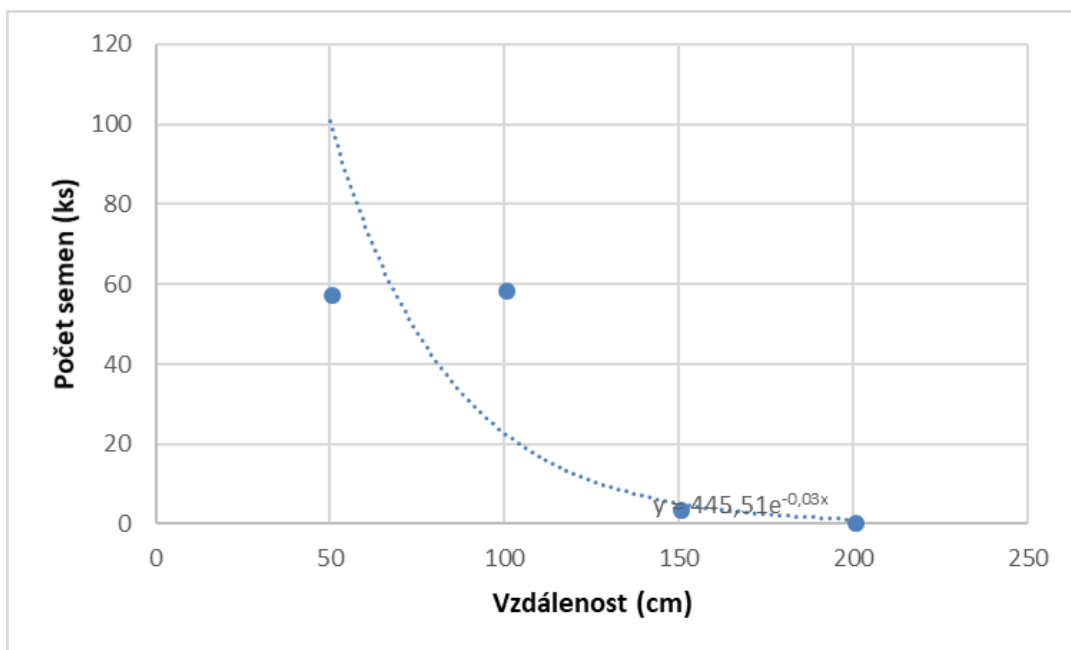
Obr. 23 – Graf nalezené exponenciální funkce pro výpočet maximální pravděpodobné vzdálenosti šíření semen jihozápadním směru pro druh *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.



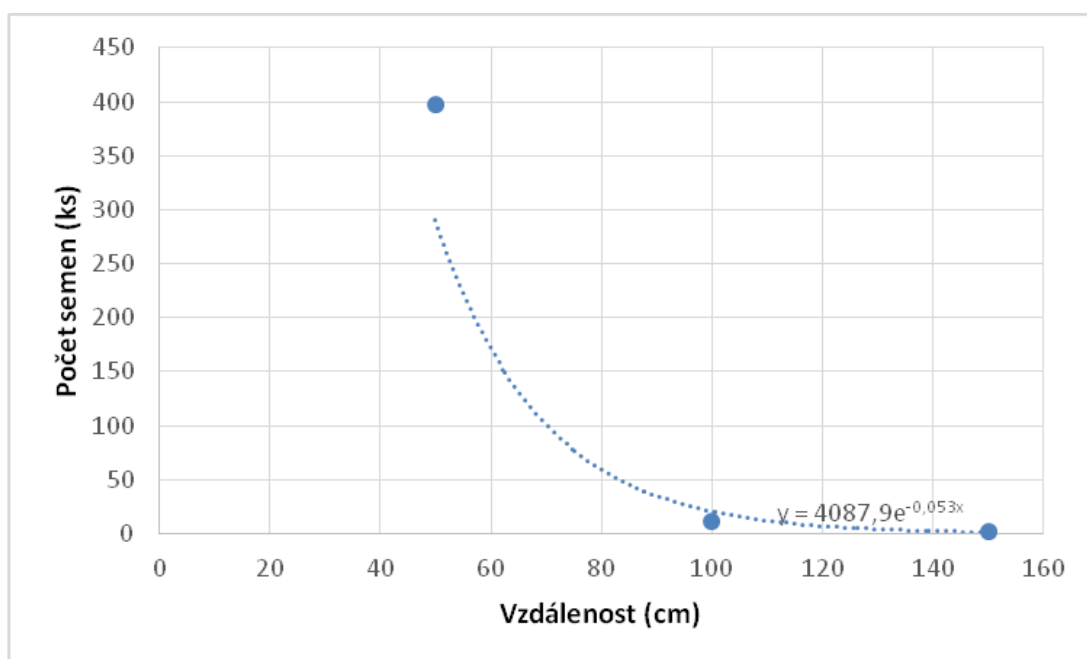
Obr. 24 – Graf nalezené exponenciální funkce pro výpočet maximální pravděpodobné vzdálenosti šíření semen v severním směru pro druh *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.



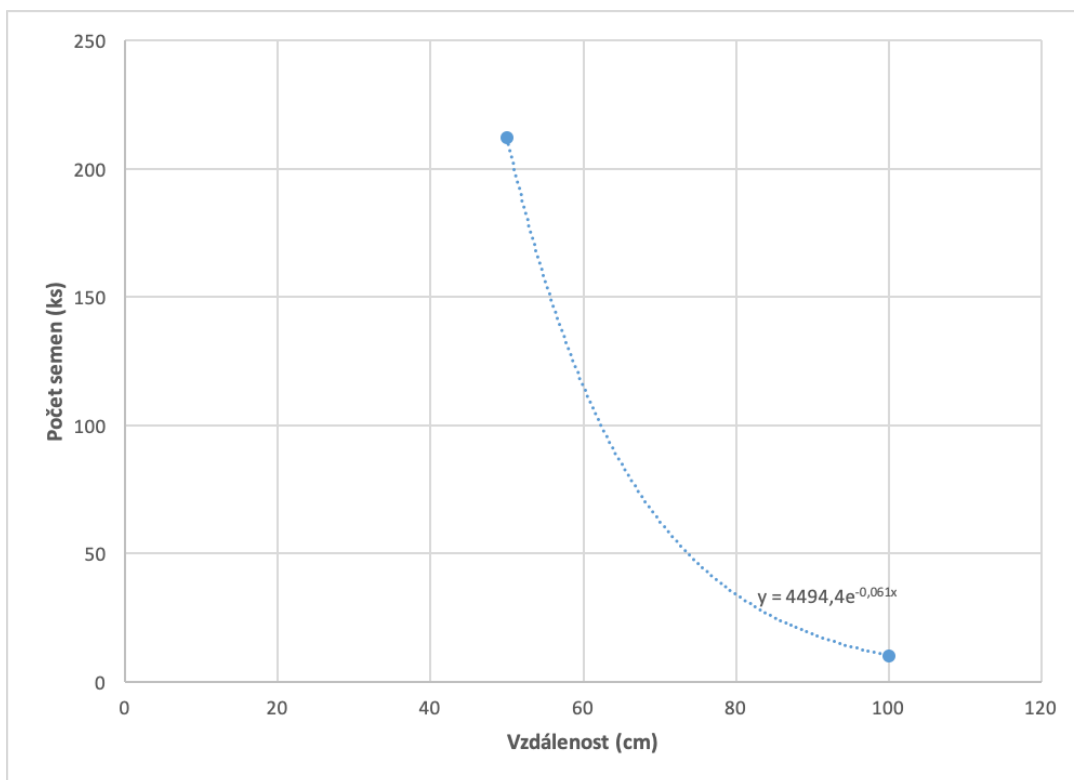
Obr. 25 – Graf nalezené exponenciální funkce pro výpočet maximální pravděpodobné vzdálenosti šíření semen v severovýchodním směru pro druh *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.



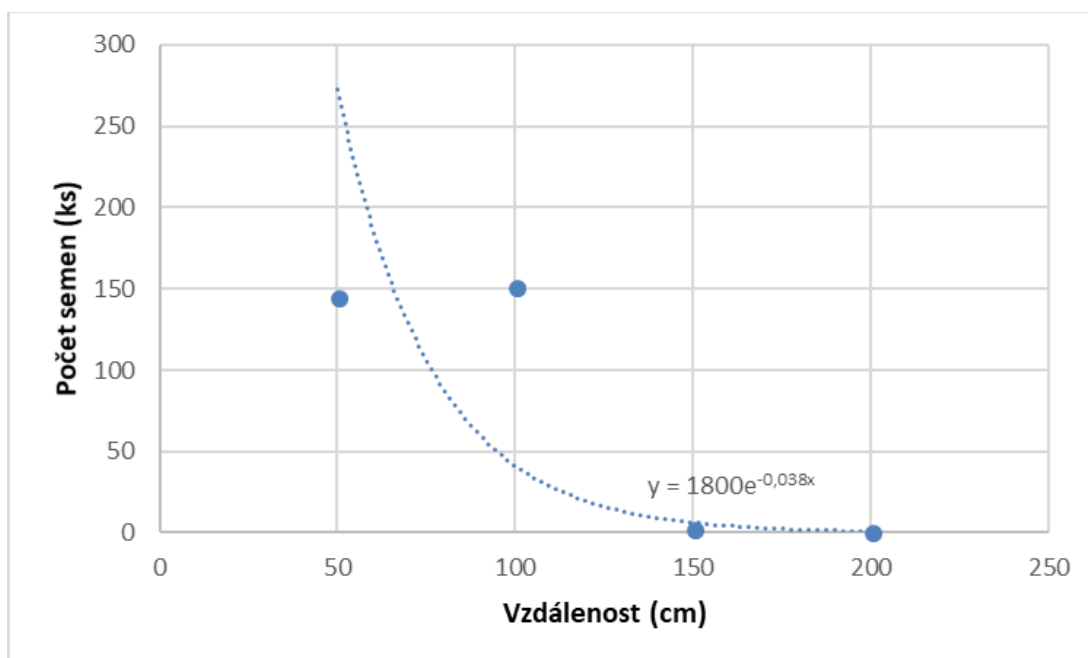
Obr. 26 – Graf nalezené exponenciální funkce pro výpočet maximální pravděpodobné vzdálenosti šíření semen v severozápadním pro druh *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.



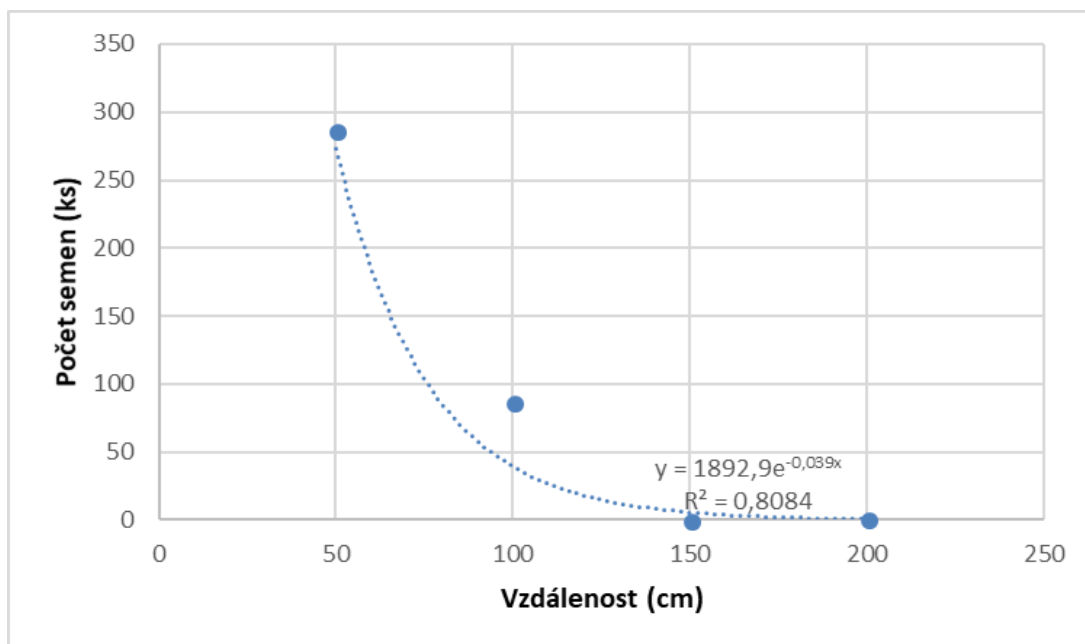
Obr. 27 – Graf nalezené exponenciální funkce pro výpočet maximální pravděpodobné vzdálenosti šíření semen ve východním směru pro druh *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.



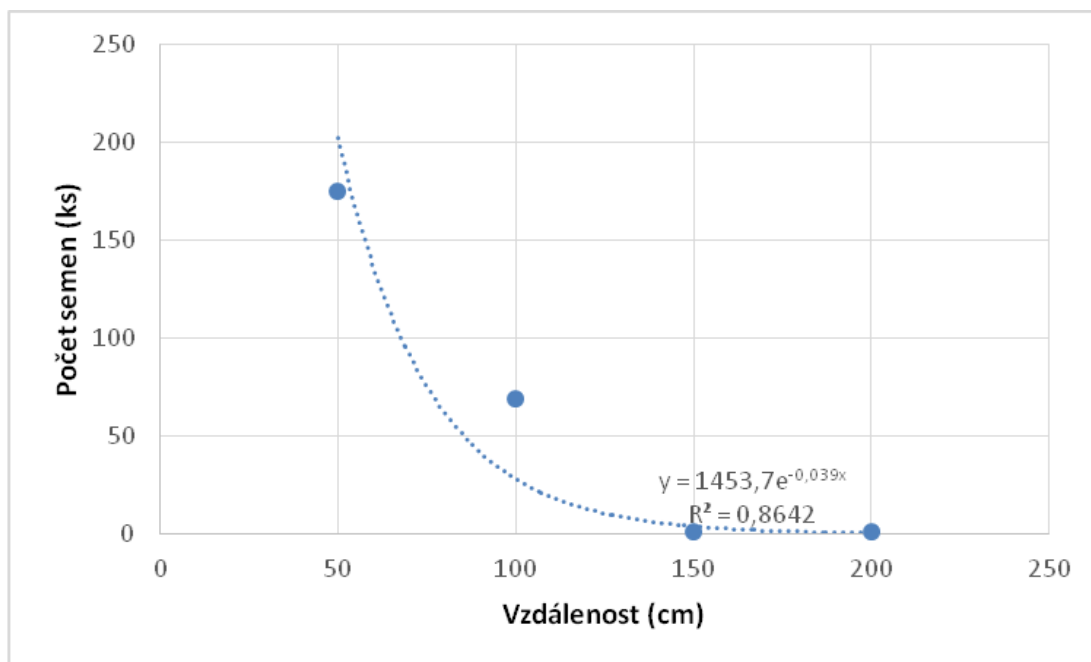
Obr. 28 – Graf nalezené exponenciální funkce pro výpočet maximální pravděpodobné vzdálenosti šíření semen v západním směru pro druh *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.



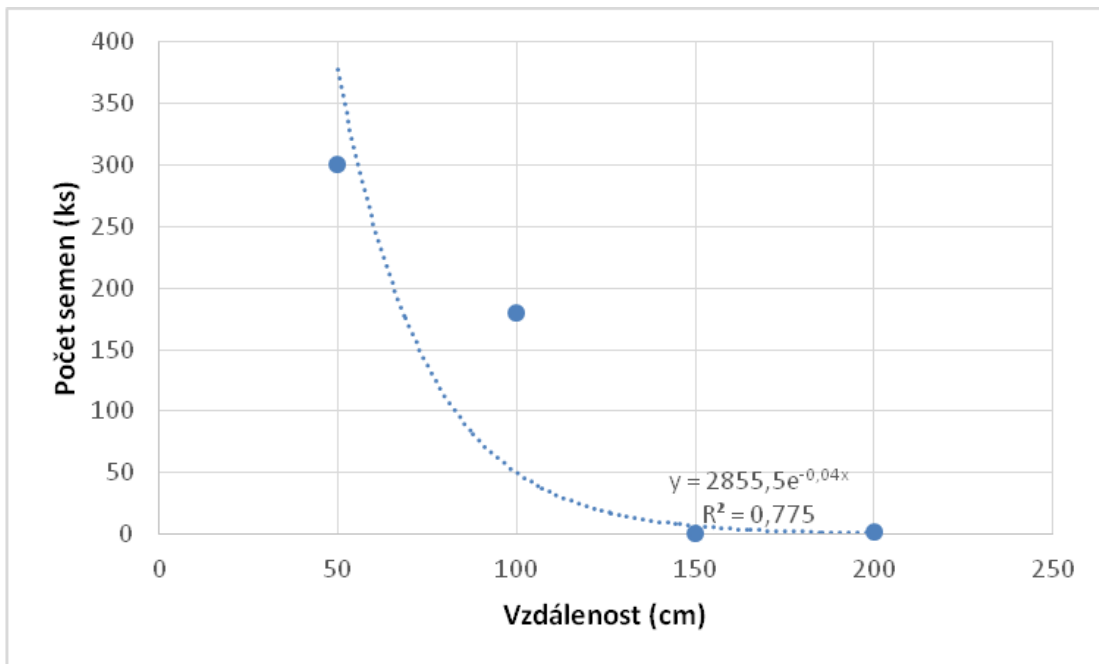
Obr. 29 - Graf exponenciální funkce pro výpočet maximální pravděpodobné vzdálenosti šíření semen v jižním směru pro druh *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.



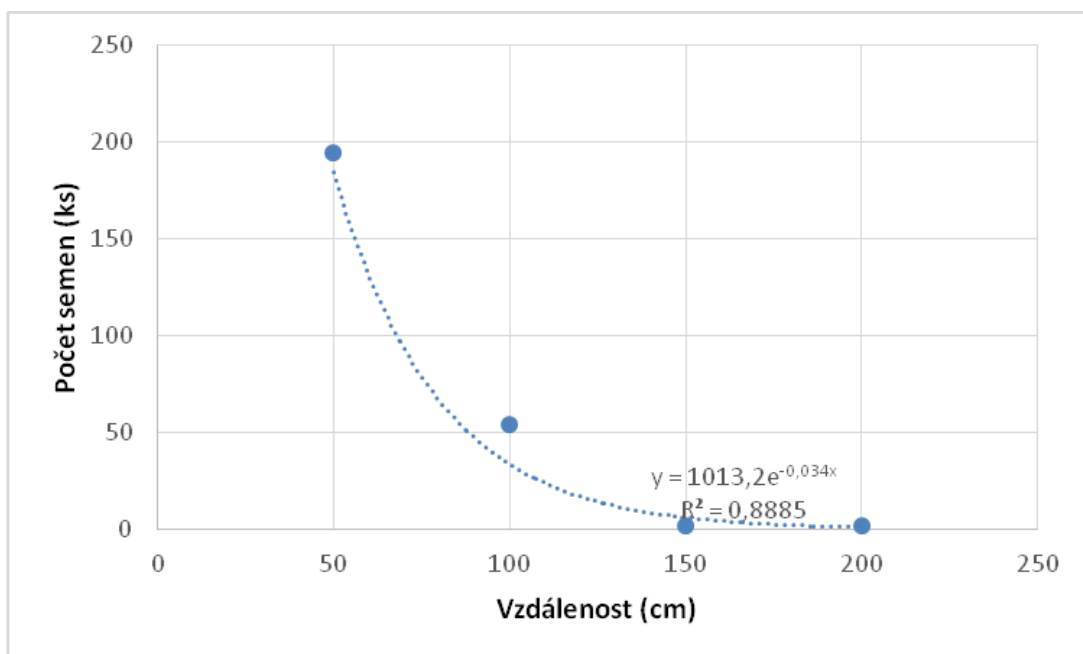
Obr. 30 - Graf exponenciální funkce pro výpočet maximální pravděpodobné vzdálenosti šíření semen v jihovýchodním směru pro druh *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.



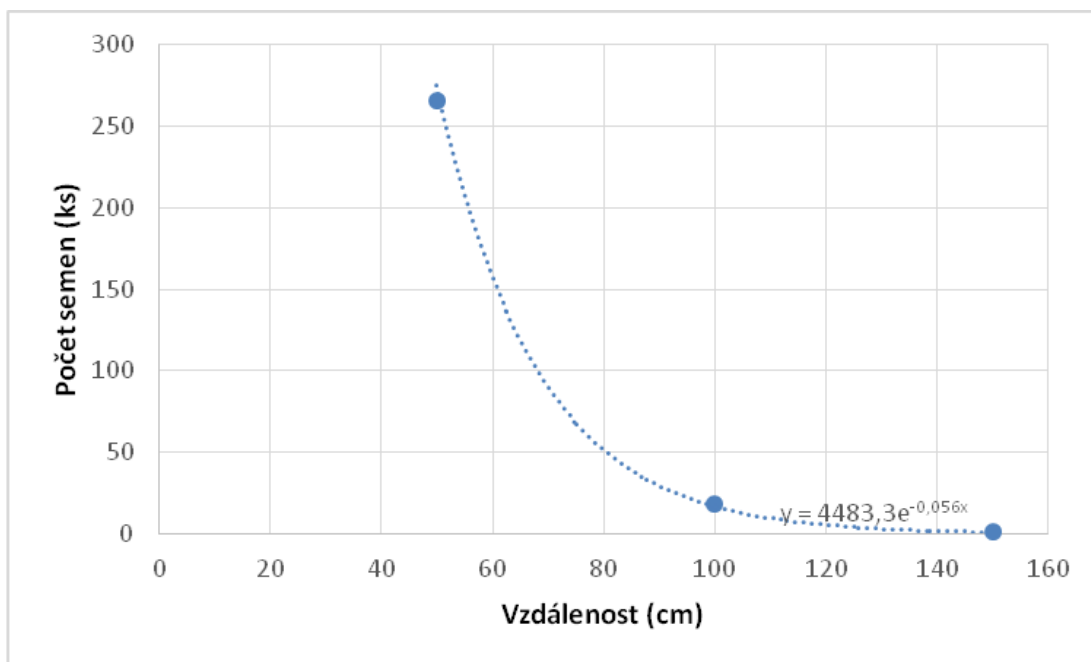
Obr. 31 - Graf exponenciální funkce pro výpočet maximální pravděpodobné vzdálenosti šíření semen v jihozápadním směru pro druh *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.



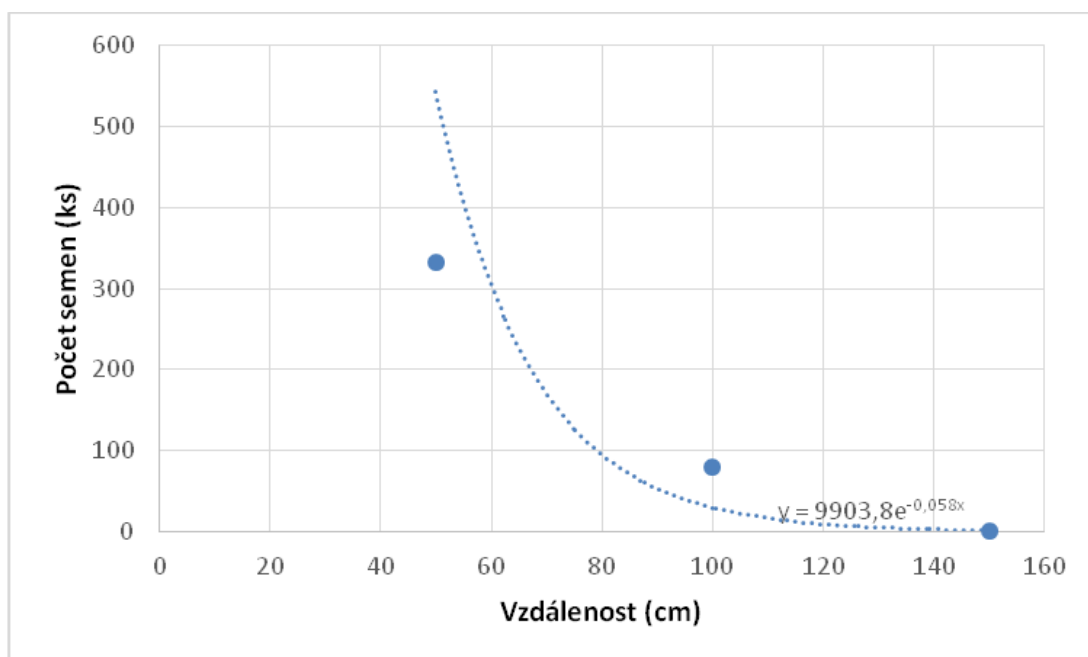
Obr. 32 - Graf exponenciální funkce pro výpočet maximální pravděpodobné vzdálenosti šíření semen v severním směru pro druh *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.



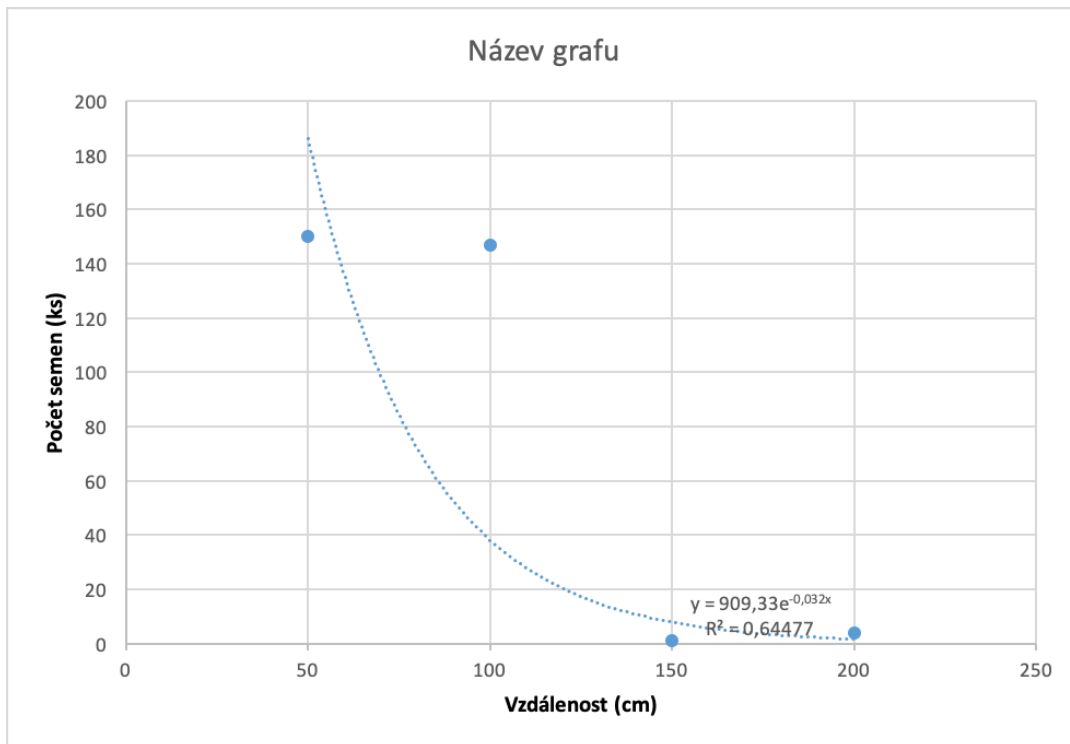
Obr. 33 - Graf exponenciální funkce pro výpočet maximální pravděpodobné vzdálenosti šíření semen v severovýchodním směru pro druh *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.



Obr. 34 - Graf exponenciální funkce pro výpočet maximální pravděpodobné vzdálenosti šíření semen v severozápadním směru pro druh *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.



Obr. 35 - Graf exponenciální funkce pro výpočet maximální pravděpodobné vzdálenosti šíření semen ve východním směru pro druh *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.



Obr. 36 - Graf exponenciální funkce pro výpočet maximální pravděpodobné vzdálenosti šíření semen v západním směru pro druh *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.

Tab. 1 - vypočtené vzdálenosti šíření semen pro jednotlivé směry – *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.

světová strana	max. vzdálenost šíření (cm)
J	73,067
Z	49,11
S	69,668
V	56,523
JV	24,356
JZ	66,572
SV	83,215
SZ	99,858

Tab. 2 - vypočtené vzdálenosti šíření semen pro jednotlivé směry – *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.

světová strana	max. vzdálenost šíření (cm)
J	78,835
Z	93,617
S	74,893
V	51,651
JV	76,814
JZ	76,814
SV	88,11
SZ	53,495

5.4 Gradient a dynamika zasolení půdy během roku v bezprostředním okolí silnice

Výsledky půdních analýz potvrdily předpokládaný pokles hodnot všech základních parametrů zasolení (EC, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, pH_{KCl} , obsah Na^+ a Cl^- iontů) se vzdáleností od asfaltového okraje povrchu vozovky. Do výsledků se také promítla dynamika zasolení během roku.

Naměřené výsledky byly porovnány s kritérii pro hodnocení slanosti půdy (podle USDA). Výsledky ukázaly, že půda ve vzdálenosti 0-50 cm, na základě konduktivity může být označena za slabě zasolenou, a to pouze v období brzy po ukončení zimního solení (Obr.37, 38). V ostatních vzdálenostech během letního a podzimního období roku zjištěné hodnoty konduktivity podle kritérií odpovídají nezasolené půdě. Přesto, na základě zjištěných výsledků je třeba na půdu v okolí této silnice pohlížet jako na půdu se zvýšeným obsahem soli. Výsledky byly podpořeny uvedenými statistickými analýzami. Výstupy analýz a grafické znázornění situace viz. Obr. 39-41.

Kruskal-wallis rank sum test

data: Ec by Time

Kruskal-wallis chi-squared = 164.54, df = 4, p-value < 2.2e-16

Dunn (1964) Kruskal-wallis multiple comparison p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	J1 - J2	1.0892622	2.760383e-01	3.067092e-01
2	J1 - L1	5.5848426	2.339119e-08	4.678238e-08
3	J2 - L1	4.4955805	6.938041e-06	1.156340e-05
4	J1 - P1	9.4372929	3.825344e-21	1.912672e-20
5	J2 - P1	8.3480308	6.941049e-17	1.735262e-16
6	L1 - P1	3.8524503	1.169417e-04	1.461771e-04
7	J1 - P2	9.6985297	3.058746e-22	3.058746e-21
8	J2 - P2	8.6092675	7.352889e-18	2.450963e-17
9	L1 - P2	4.1136870	3.893893e-05	5.562704e-05
10	P1 - P2	0.2612367	7.939100e-01	7.939100e-01

Obr. 37 – Výstup ze statistické analýzy dat závislosti hodnoty elektrické konduktivity na ročním období (R Core Team, 2018).

Kruskal-wallis rank sum test

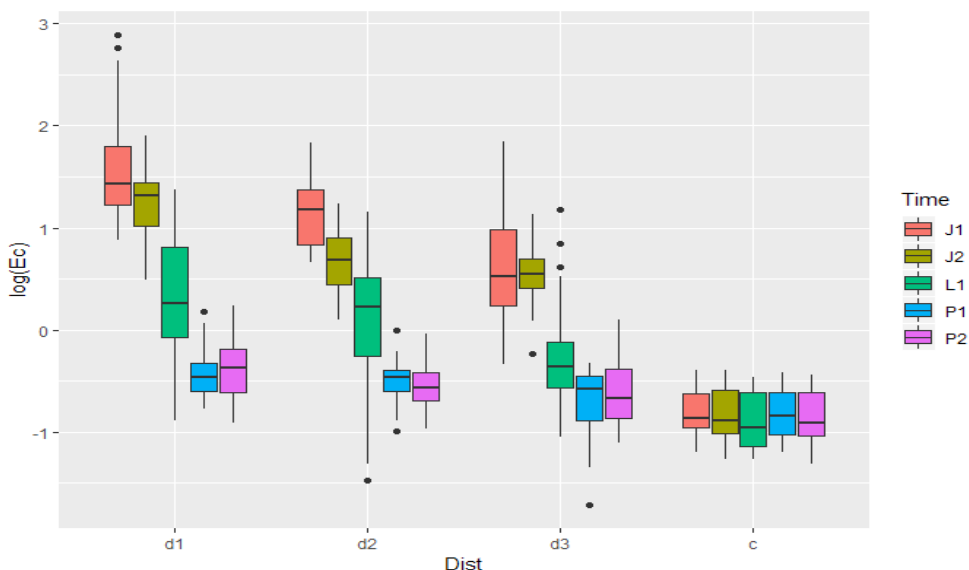
data: Ec by Dist

Kruskal-wallis chi-squared = 236.83, df = 3, p-value < 2.2e-16

Dunn (1964) Kruskal-wallis multiple comparison p-values adjusted with the Benjamini-Hochberg method.

Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1 c - d1	-14.272410	3.251466e-46	1.950880e-45
2 c - d2	-12.038260	2.236222e-33	6.708666e-33
3 d1 - d2	2.234149	2.547324e-02	2.547324e-02
4 c - d3	-9.620915	6.524786e-22	1.304957e-21
5 d1 - d3	4.651494	3.295386e-06	4.943078e-06
6 d2 - d3	2.417345	1.563420e-02	1.876104e-02

Obr. 38 - Výstup ze statistické analýzy dat závislosti hodnoty elektrické konduktivity na vzdálenosti od vnějšího okraje vozovky (R Core Team, 2018).



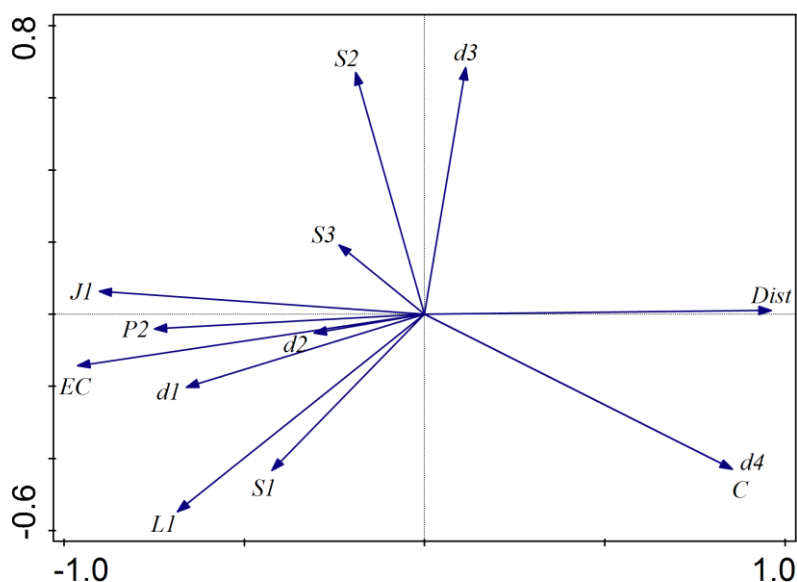
Obr. 39 – Logaritmicky upravené průměrné hodnoty konduktivity (mS/cm) ve vzdálenostech d_1 (0-50 cm), d_2 (50-100 cm) a d_3 (100-150 cm) od vnějšího okraje vozovky během roku (J1, L1, P2), c – kontrola. Graf zobrazuje také hodnoty předchozí podzimní sezóny (P1) a následující jarní sezóny (J2).

Podle kritérií hodnocení $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ a pH_{KCl} (Vopravil et al., 2009) dosáhla průměrná hodnota aktivního $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ nejvyšší hodnoty ve vzdálenosti 25 cm a 75 cm v únoru, půda měla slabě alkalickou reakci. Ve vzdálenosti 125 cm byla reakce půdy však již slabě kyselá. Během léta až po období října byla půda v okolí silnice slabě kyselá až kyselá. Přehled naměřených hodnot aktivní a výměnné půdní reakce a obsah Na^+ a Cl^- v půdě v jednotlivých vzdálenostech od okraje vozovky sumarizuje tab. č. 3.

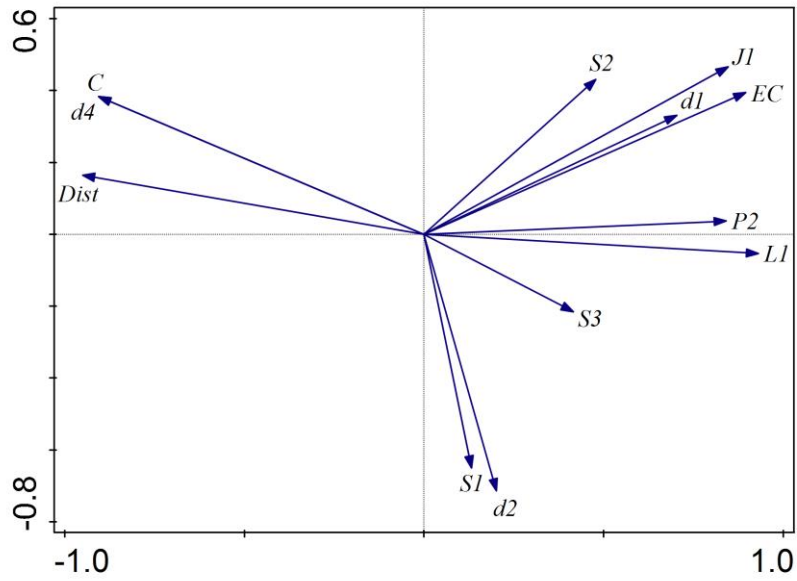
Tab. 3 - Přehled průměrných hodnot ostatních základních parametrů zasolení ve vzdálenostech $d_1 - 25$ cm, $d_2 - 75$ cm, $d_3 - 125$ cm od vnějšího okraje vozovky během roku.

	pH _{H2O}	PH _{KCl}	Na ⁺ (mg/kg)	Cl ⁻ (mg/kg)
J				
d1	7,38	6,49	2833,3	1477
d2	7,09	6,17	1666,7	1383,3
d3	6,74	6	1500	844
L				
d1	6,57	6,11	1500	288,6
d2	6,14	5,81	1250	287,8
d3	5,62	5,26	1166,7	187,7
P				
d1	6,24	5,48	412,5	40,2
d2	5,94	5,55	335,6	40,4
d3	5,46	5,27	338	48,1

Grafy na obr. 40 a obr. 41 ukazují vztahy mezi environmentálními proměnnými (lokalita, vzdálenost od silnice, konduktivita) na výzkumných lokalitách. Z grafu na obr. č. 40 je patrné, že maxima zasolení půdy se objevují ve vzdálenosti d_1 a d_2 v jarním období a následném podzimním období a to hlavně na lokalitě S_1 . Situaci z lokalit s výskytem *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. zachycuje graf na obr. 41, kde maxima zasolení půdy spadají do jarního období ve vzdálenosti d_1 a lokalitě S_2 .



Obr. 40 - PCA analýza environmentálních proměnných (ukazuje korelace mezi všemi environmentálními proměnnými – S_1, S_2, S_3 lokalita, d_1, d_2, d_3, d_4 vzdálenost od silnice, J_1, L_1, P_2 roční období, EC konduktivita) u *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.



Obr. 41 - PCA analýza environmentálních proměnných (ukazuje korelace mezi všemi environmentálními proměnnými – S₁, S₂, S₃ lokalita, d₁, d₂, d₄ vzdálenost od silnice, J₁, L₁, P₂ roční období, EC konduktivita) u *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.

5.5 Vliv zasolení půdy na výskyt, vývoj a rozmnožování druhů *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. a *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. podél silnice

Období růstu a rozmnožování populací obou druhů spadá do doby, kdy zasolení půdy v okolí silnice dosahuje rozmezí hodnot 1,61-0,54 mS/cm. Naměřené hodnoty od silnice byly porovnány s hodnotami zasolení variant pokusu ve skleníku a bylo zjištěno, že maxima zasolení od silnice (vzdálenost 0-50 cm) nedosáhla ani varianty A (1,95 mS/cm) u skleníkových pokusů. Zasolení o této hodnotě bylo velmi dobře tolerováno oběma druhy a nijak neomezilo jejich růst a vývoj (Šerá et al. 2011; Nováková et al., 2012; Nováková et al. 2013). Na základě zjištěné skutečnosti lze předpokládat, že semena obou druhů, která si zachovala klíčivost během vyšší salinity půdy v zimním a jarním období, klíčí, vzchází a semenáčky se dále normálně vyvíjejí v počátku mírně zasolené a později nezasolené půdě.

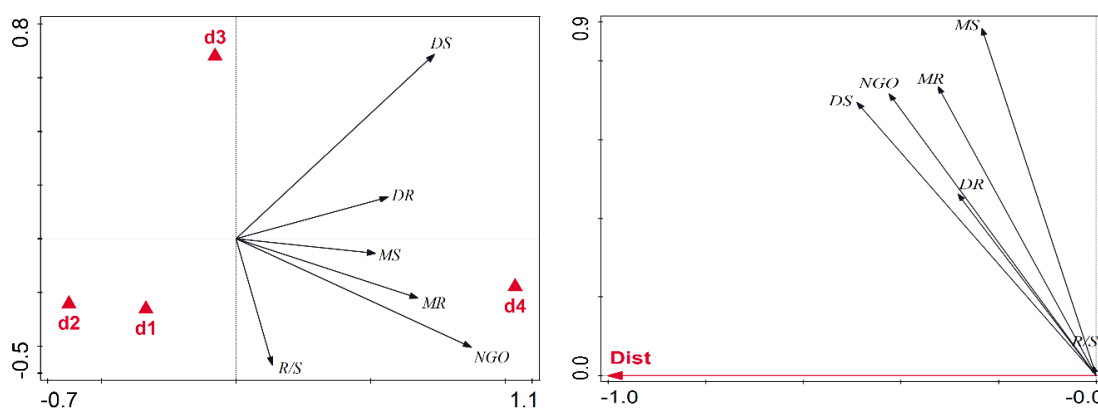
U populací obou druhů rostoucích na stanovištích u silnice byl sledován nárůst a případné ztráty nadzemní i podzemní biomasy a množství vytvořených generativních orgánů k 63 dni pokusu. Grafy č.42, 43 sledují závislost stavu uvedených charakteristik (vysvětlované proměnné) na vzdálenosti (vysvětlující proměnná) jedinců *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. od asfaltového povrchu silnice. Graf č.42 ukazuje snížení nadzemní i podzemní biomasy u jedinců tohoto druhu ve vzdálenosti $d_1 - d_3$. Naopak vzdálenost d_4 (kontrola, plocha mimo silniční stanoviště) svými podmínkami prostředí má pozitivní vliv na tvorbu podzemní i nadzemní biomasy jedinců včetně počtu vytvořených generativních orgánů. Jedinci v této vzdálenosti jsou vyšší, mají hlubší kořenový systém a tvoří více generativních orgánů. Z grafu č.43 je patrná velikost, mohutnost nadzemní biomasy vůči biomase podzemní, která má podobu více kratších kořínků ve svazku u každého jedince. Grafy č. 45, 46 sledují závislost stavu uvedených charakteristik na vzdálenosti jedinců *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. od asfaltového povrchu silnice. Graf č. 45 znázorňuje snížení nadzemní i podzemní biomasy u jedinců tohoto druhu ve vzdálenosti d_1 . Vzdálenost d_4 (kontrola, plocha mimo silniční stanoviště) svými podmínkami prostředí má pozitivní vliv na tvorbu podzemní i nadzemní biomasy jedinců včetně počtu vytvořených generativních orgánů. Na rozdíl od situace u předchozího druhu, je stav biomasy jedinců *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. ve vzdálenosti d_2 velmi podobný jedincům vzdálenosti d_4 . Již zmíněná skutečnost, že maximum zasolení půdy během vegetace obou druhů dosáhlo výše 1,61 mS/cm, která nijak neomezila jejich růst ani tvorbu generativních orgánů, nebylo zasolení půdy v okolí silnice hlavním důvodem pomalejšího nárůstu biomasy podzemní i nadzemní části u jedinců *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. i *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. Rozdíl mezi jedinci u silnice a kontrolou (d_4) byl statisticky prokázán.

Výšku a celkový habitus jedinců obou populací u silnice ovlivňuje pravděpodobně celý soubor stresových faktorů (toxicita látek z dopravy, sucho, mělká půda, nedostatek zastínění apod.), které na těchto specifických stanovištích působí. Nízká, ale přesto existující koncentrace solí ve zdejší půdě ve vegetačním období obou druhů není hlavním faktorem, ale pouze jedním ze souboru faktorů, které k této skutečnosti přispívají. Větší množství vytvořených generativních orgánů u jedinců kontrolních populací k 63. dni pokusu ukazuje na pozdější nástup období tvorby těchto orgánů u jedinců v okolí silnice. Grafy na obr. č. 48 – 53 ukazují stav počtu

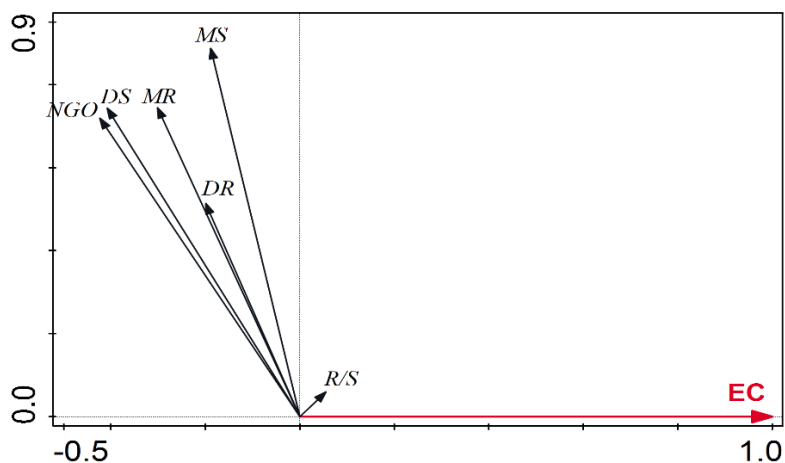
vytvořených generativních orgánů k tomuto dni, jejich délku a hmotnost sušiny u obou sledovaných druhů plevelů.

Tab. 4 – Výsledky redundančních analýz (RDA) pro vliv zasolení půdy na rostliny *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. a *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. Jako závislé proměnné byly použity parametry rostlin (délka nadzemní a podzemní biomasy, hmotnost sušiny podzemní a nadzemní biomasy, poměr R/S, počet vytvořených generativních orgánů), testován byl vliv konduktivity a vzdálenosti od silnice (jako ordinální škála nebo jako kategorie vzdáleností)

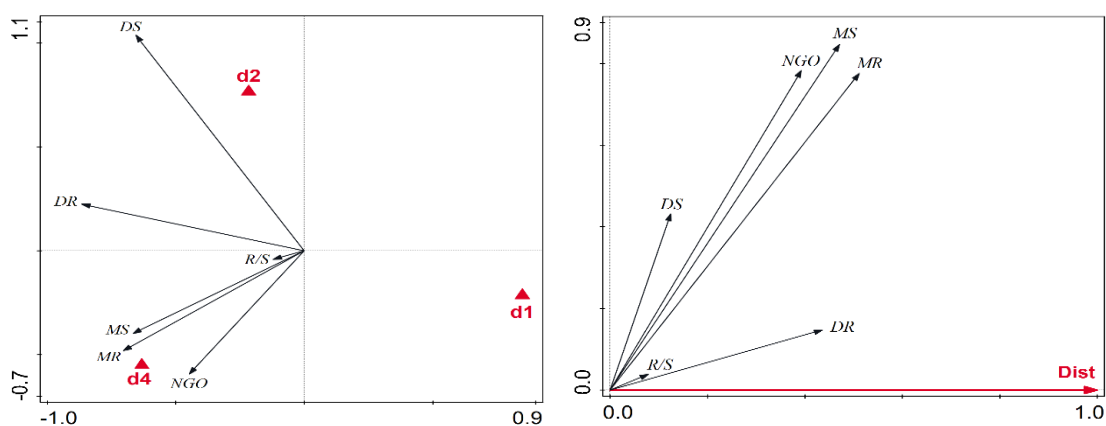
Explanatory variable	Explained variation (%)	Adjusted explained variation (%)	Pseudo – F	p
<i>Digitaria</i>				
EC	8.6	7.8	11.1	0.001
Distance (ordinal scale)	11.0	10.3	14.6	0.001
Distance (categories)	18.2	16.1	8.6	0.001
<i>Echinochloa</i>				
EC	8.6	7.5	8.3	0.001
Distance (ordinal scale)	14.1	13.2	14.5	0.001
Distance (categories)	24.8	23.1	14.3	0.001



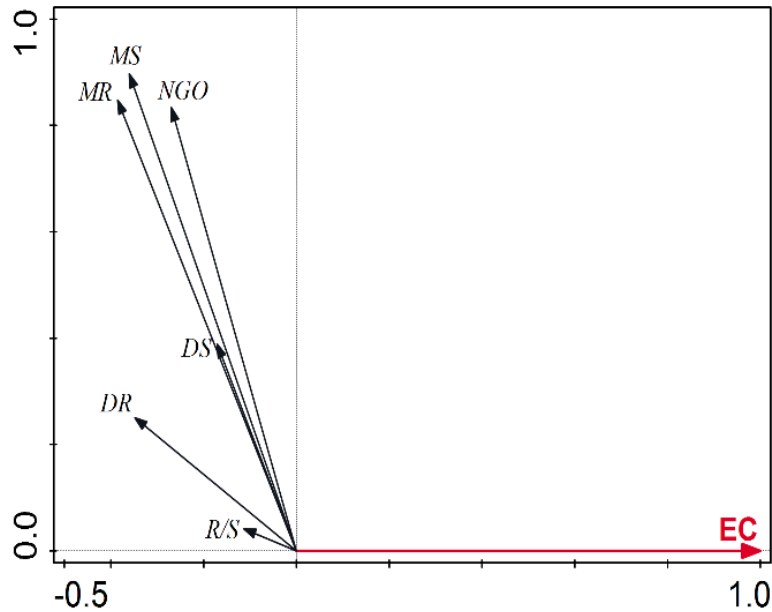
Obr. 42 a 43 – RDA analýza pro data charakteristik (DS, DR – délka nadzemní a podzemní biomasy, MS, MR - hmotnost sušiny podzemní a nadzemní biomasy, poměr R/S, NGO – počet vytvořených generativních orgánů) *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. v závislosti na kategorii vzdálenosti (d_1 - d_4 , d_4 =kontrola) jako vysvětlující proměnné



Obr. 44 – RDA analýza pro data charakteristik (DS, DR – délka nadzemní a podzemní biomasy, MS, MR - hmotnost sušiny podzemní a nadzemní biomasy, poměr R/S, NGO – počet vytvořených generativních orgánů) *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. v závislosti na konduktivitě jako vysvětlující proměnné



Obr. 45 a 46 – RDA analýza pro data charakteristik (DS, DR – délka nadzemní a podzemní biomasy, MS, MR - hmotnost sušiny podzemní a nadzemní biomasy, poměr R/S, NGO – počet vytvořených generativních orgánů) *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. v závislosti na kategorii vzdálenosti jako vysvětlující proměnné

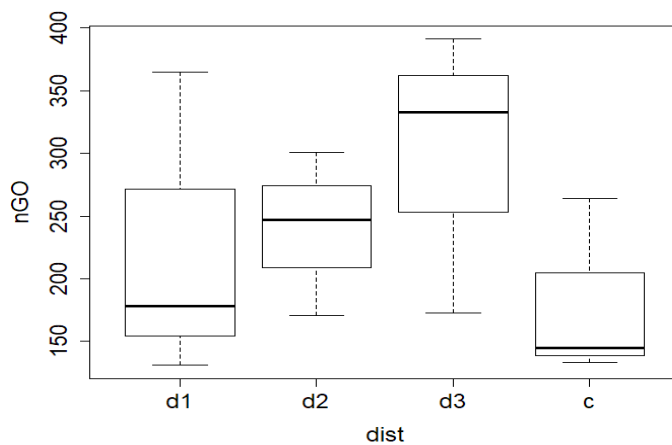


Obr. 47 – RDA analýza pro data charakteristik (*DS*, *DR* – délka nadzemní a podzemní biomasy, *MS*, *MR* - hmotnost sušiny podzemní a nadzemní biomasy, poměr *R/S*, *NGO* – počet vytvořených generativních orgánů) *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. v závislosti na konduktivitě jako vysvětlující proměnné

Koncem srpna, kdy byla již vytvořena většina generativních orgánů se semeny, byly tyto orgány sklizeny a postupně změřeny a dopočítány sledované charakteristiky. Jedinci u silnice byli porovnání s jedinci z kontrolních nezasolených ploch. Přehled výsledků sledovaných charakteristik u generativních orgánů znázorňuje tab.č.5 pro druh *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. a tab. č. 6 pro druh *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.

Anova, puvodni netransformovana data

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F	value	Pr(>F)
dist	3	21518	7173	0.763	0.546	
Residuals	8	75160	9395			



Obr. 48 – Počet vytvořených generativních orgánů *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. v jednotlivých vzdálenostech od silnice (d_1 - 0-50 cm, d_2 -50-100 cm, d_3 – 100–150 cm, C- kontrolní ploška), výstup z programu R (R Core Team, 2018) nad grafem.

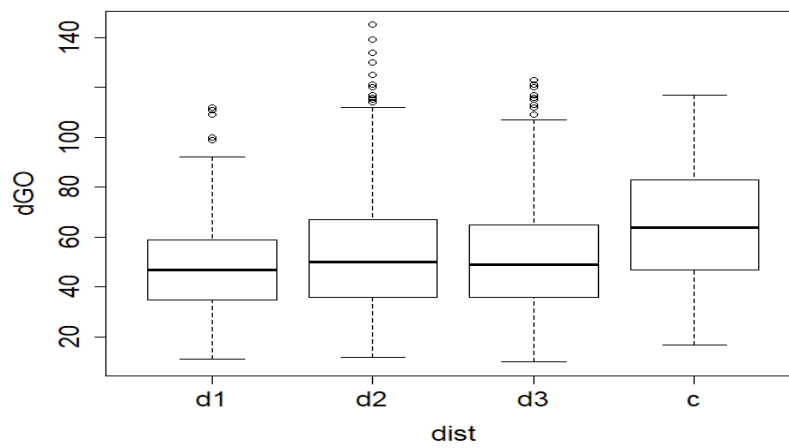
Kruskal-wallis rank sum test

data: dGO by dist

Kruskal-wallis chi-squared = 178.79, df = 3, p-value < 2.2e-16

Dunn (1964) Kruskal-wallis multiple comparison p-values adjusted with the Holm method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	c - d1	12.9943545	1.317145e-38	7.902868e-38
2	c - d2	8.9961554	2.337604e-19	9.350417e-19
3	d1 - d2	-4.4384897	9.059234e-06	2.717770e-05
4	c - d3	10.0769625	6.985218e-24	3.492609e-23
5	d1 - d3	-3.9497832	7.822202e-05	1.564440e-04
6	d2 - d3	0.7307947	4.649046e-01	4.649046e-01



Obr.49 – Průměrná délka generativních orgánů *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. v jednotlivých vzdálenostech od silnice (d_1 - 0-50 cm, d_2 -50-100 cm, d_3 – 100 – 150 cm, C- kontrolní ploška), výstup z programu R (R Core Team, 2018) nad grafem. .

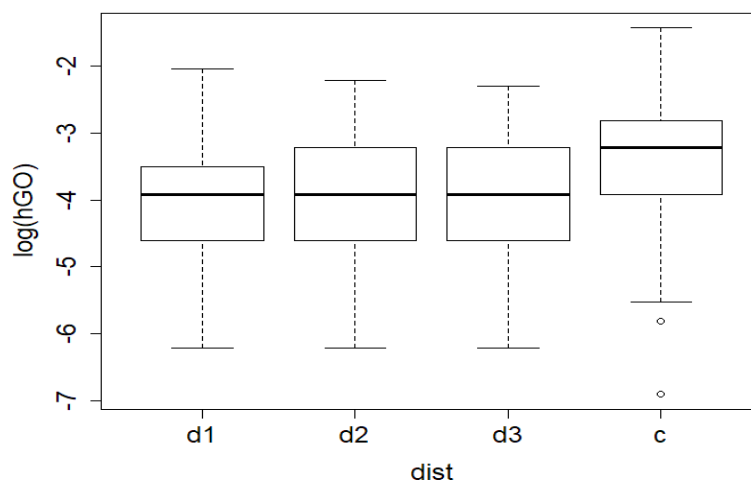
Kruskal-wallis rank sum test

data: hGO by dist

Kruskal-wallis chi-squared = 251.83, df = 3, p-value < 2.2e-16

Dunn (1964) Kruskal-wallis multiple comparison p-values adjusted with the Holm method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	c - d1	13.1936337	9.547017e-40	4.773508e-39
2	c - d2	13.0006604	1.212913e-38	4.851652e-38
3	d1 - d2	-0.4033304	6.867052e-01	1.000000e+00
4	c - d3	14.1368359	2.251838e-45	1.351103e-44
5	d1 - d3	0.1585382	8.740327e-01	8.740327e-01
6	d2 - d3	0.5933235	5.529647e-01	1.000000e+00



Obr.50 - Průměrná hmotnost generativních orgánů *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. v jednotlivých vzdálenostech od silnice (d_1 - 0-50 cm, d_2 -50-100 cm, d_3 – 100–150 cm, C- kontrolní ploška), výstup z programu R (R Core Team, 2018) nad grafem.

Tab. 5 - Přehled průměrných hodnot ostatních sledovaných charakteristik u generativních orgánů *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. (locality – lokalita, coverage – odhad pokrývnosti, average seeds/GO(pc) – průměrný počet semen na generativní orgán (ks), TSW – hmotnost tisíce semen, fertility – reprodukční schopnost (počet generativních orgánů*množství semen/generativní orgán)).

locality	coverage (%)	average seeds/GO(pc)	TSW (mg)	fertility
A				
I.	5.0	63.4	351.0	23,901.8
II.	5.0	56.9	305.0	7,226.3
III.	5.0	63.8	313.0	10,782.2
B				
I.	5.0	122.3	335.0	37,913.0
II.	25.0	152.4	308.0	26,517.6
III.	25.0	106.0	99.0	24,274.0
C				
I.	25.0	79.4	315.0	13,577.4
II.	25.0	125.1	242.0	50,540.4
III.	25.0	118.0	223.0	42,244.0
cont.				
I.	50.0	207.6	226.0	30,102.0
II.	50.0	197.3	297.0	24,267.9
III.	25.0	239.4	329.0	23,221.8

Anova, odmocninova transformace

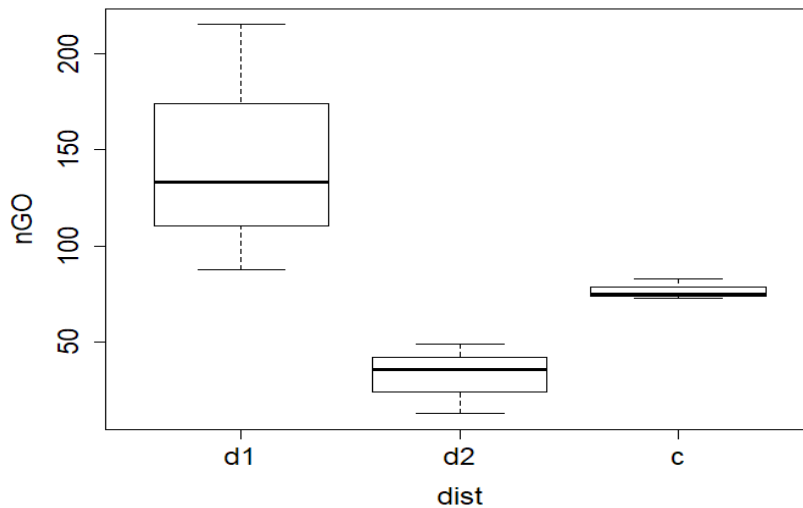
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
dist	2	59.99	29.996	8.834	0.0163 *
Residuals	6	20.37	3.396		

Multiple Comparisons of Means: Tukey Contrasts
Fit: aov(formula = sqrt(nGO) ~ dist, data = Jezatka3)

Linear Hypotheses:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
d2 - d1 == 0	-6.324	1.505	-4.203	0.0134 *
c - d1 == 0	-3.087	1.505	-2.052	0.1806
c - d2 == 0	3.236	1.505	2.151	0.1594

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Adjusted p values reported -- single-step method)



Obr. 51 – Počet vytvořených generativních orgánů *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. v jednotlivých vzdálenostech od silnice (d_1 - 0-50 cm, d_2 -50-100 cm, C-kontrolní ploška), výstup z programu R (R Core Team, 2018) nad grafem.

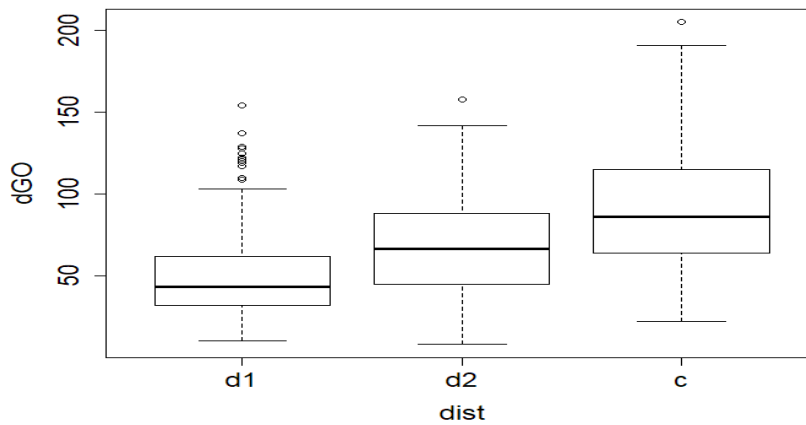
Kruskal-wallis rank sum test

data: dGO by dist

Kruskal-wallis chi-squared = 205.12, df = 2, p-value < 2.2e-16

Dunn (1964) Kruskal-wallis multiple comparison p-values adjusted with the Holm method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	c - d1	14.065814	6.160980e-45	1.848294e-44
2	c - d2	4.077542	4.551424e-05	4.551424e-05
3	d1 - d2	-6.066096	1.310565e-09	2.621129e-09



Obr.52 – Průměrná délka generativních orgánů *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. v jednotlivých vzdálenostech od silnice (d₁- 0-50 cm, d₂-50-100 cm, C-kontrolní ploška), výstup z programu R (R Core Team, 2018) nad grafem. .

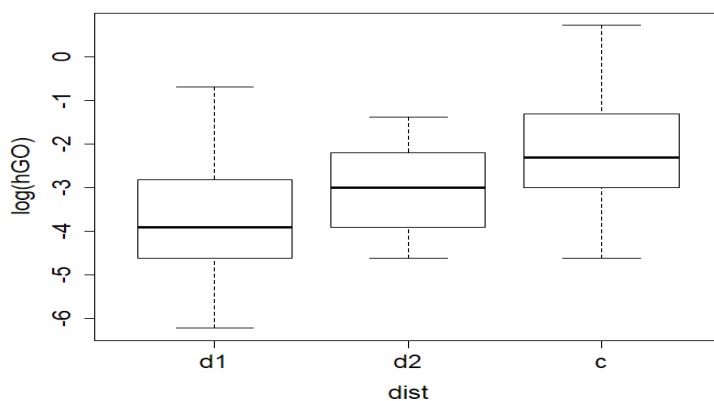
Kruskal-wallis rank sum test

data: hGO by dist

Kruskal-wallis chi-squared = 182.25, df = 2, p-value < 2.2e-16

Dunn (1964) Kruskal-wallis multiple comparison p-values adjusted with the Holm method.

	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
1	c - d1	13.398797	6.145106e-41	1.843532e-40
2	c - d2	4.700529	2.594889e-06	2.594889e-06
3	d1 - d2	-4.887106	1.023292e-06	2.046585e-06



Obr. 53 - Průměrná hmotnost generativních orgánů *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. v jednotlivých vzdálenostech od silnice (d_1 - 0-50 cm, d_2 -50-100 cm, C-kontrolní ploška), výstup z programu R (R Core Team, 2018) nad grafem.

Tab. 6 - Přehled průměrných hodnot ostatních sledovaných charakteristik u generativních orgánů *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. (locality – lokalita, coverage – odhad pokryvnosti, average seeds/GO(pc) – průměrný počet semen na generativní orgán (ks), TSW – hmotnost tisíce semen, fertility – reprodukční schopnost (počet generativních orgánů*množství semen/generativní orgán)).

locality	coverage (%)	average seeds/GO(pc)	TSW (mg)	fertility
A				
I.	5.0	300.0	951.4	40,800.0
II.	5.0	225.6	992.3	15,792.0
III.	5.0	441.6	515.9	94,935.4
B				
I.	25.0	690.4	417.0	24,854.4
II.	25.0	715.6	357.0	37,211.2
III.	25.0	716.2	425.0	9,310.6
cont.				
I.	70.0	819.3	694.0	68,001.9
II.	70.0	663.2	910.9	48,413.6
III.	50.0	609.3	1,021.9	56,055.6

Jedinci druhu *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. u silnice vytvořily mnohem více generativních orgánů než jedinci z kontrolních plošek, a to ve všech vzdálenostech od vozovky. Byly porovnány jejich průměrné hodnoty délek, hmotností sušiny, průměrný počet semen na generativní orgán a četnost větvení klasu. Z výsledků vyplynulo, že generativní orgány *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. u silnice byly menší, s nižší hmotností, s menším počtem semen a menší četností větvení klasu v porovnání s jedinci kontrolních plošek. Podobné průměrné hodnoty hmotnosti tisíce semen (TSW) kontrolních jedinců i jedinců u silnice potvrzují skutečnost, že průměrná hmotnost semen zůstává v rámci druhu konstantní a není ovlivněna podmínkami stanoviště, kde jedinci rostou. Ke změně může dojít v počtu semen na generativní orgán, ale jejich hmotnost zůstává relativně stálá (Harper, 1977). Překvapující byla nápadně vysoká průměrná hodnota TSW u populací rostoucích ve vzdálenosti 0-50 cm, tedy v bezprostředním okolí vozovky a nízká pokryvnost druhu v této vzdálenosti (5%). Podle práce Hodgsona a Blackmana (1957) dochází se zmenšováním populace k nárůstu hmotnosti semene. U jedinců druhu *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. byla zjištěna vysoká průměrná hodnota TSW pouze ve vzdálenosti 0-50 cm. Jedinci vytvořily více menších a lehčích generativních orgánů s odpovídajícím menším počtem semen v porovnání s kontrolním vzorkem. Generativní orgány, vytvořené jedinci ve vzdálenosti 50-100 cm, se velmi podobaly generativním orgánům kontrolního vzorku, a to jejich menším počtem neodpovídajícím vyšší pokryvnosti, svou velikostí i zcela shodnou průměrnou hmotností. Počet semen na generativní orgán přesáhl počet semen u kontroly. Nevíme však, proč došlo k nápadné redukci hmotnosti tisíce semen.

Vzhledem k roční dynamice zasolení půdy silniční krajnice a jejího nejbližšího okolí jsou podmínky tohoto stanoviště vhodné i výhodné pro výskyt obou druhů sledovaných plevelů. Oba

druhy velmi dobře tolerují hodnoty zasolení, půdní reakce i koncentrace sodných iontů, které nastávají v půdě v období, kdy jedinci klíčí a tvoří semenáčky, následně vyrostou v dospělá individua a vytvoří generativní orgány. Zjištěné hodnoty kvantitativních růstových ukazatelů a charakteristik generativních orgánů ukázaly vlastnosti S-R strategií, kterými oba druhy prokazatelně jsou.

6 Závěr

Získané výsledky z jednotlivých manipulativních pokusů a z terénního pozorování v bezprostředním okolí silnice předložené v disertační práci stanovují konkrétní hodnoty tolerance druhu *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. i *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. vůči zasolení půdy. Dále kvantifikují růstové a reprodukční schopnosti obou druhů plevelů v reálných podmínkách okolí silnice. Výsledky byly publikovány v odborných člancích, sbornících, prezentovány na konferencích anebo jsou součástí disertační práce.

Získaná a vyhodnocená data rozšiřují informace o obou druzích plevelných rostlin a potvrzují částečně předpoklad vhodnosti silničních stanovišť pro možné využití, jako koridorů k šíření těchto plevelů do okolní zemědělské krajiny.

Dílčí závěry:

Digitaria sanguinalis (L.) Scop.

- toleruje zasolení půdního substrátu o koncentracích 1,25 g/l, 2,5 g/l, 5 g/l, hodnoty koncentrace odpovídají hodnotám E_c v rozmezí 1,953–7,813 mS/cm
- stagnace růstu a poškození listů vyvolává koncentrace chloridu sodného v substrátu 10 g/l, 20 g/l, hodnoty koncentrace odpovídají hodnotám E_c 15,625–31,250 mS/cm
- dobrá vzcházivost semen při nižších koncentracích zasolení půdy je 1,25 g/l, 2,5 g/l, 5 g/l chloridu sodného (odpovídající hodnoty E_c viz. výše)
- limitující koncentrace chloridu sodného pro vzcházivost semen je 10 g/l, kdy vzcházivost poklesla o polovinu; při koncentraci chloridu sodného v půdě 20 g/l nevzešlo žádné semeno (odpovídající hodnoty E_c viz. výše)
- testovací statistika prokázala rozdíl v produkci biomasy podzemní i nadzemní části jedinců *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. z okolí silnice v porovnání s jedinci kontroly; hodnoty hmotnosti sušiny i délky kořenové části ve všech vzdálenostech od povrchu silnice jsou nižší, v případě biomasy nadzemní části se stejný trend prokázal pouze u jedinců do vzdálenosti 0-100 cm od silnice
- jedinci ze silničních stanovišť v jednotlivých vzdálenostech se od sebe statisticky významně nelišily v produkci biomasy podzemní části; lišily se pouze v délce nadzemní části mezi vzdálenostmi 0–50 cm a 100–150 cm od silnice, větší investici do kořenů u jedinců nejbliže k silnici potvrdil i R/S poměr
- u jedinců ze silničních stanovišť byla zjištěna menší délka i hmotnost generativních orgánů v porovnání s generativními orgány kontrolních jedinců
- jedinci ve vzdálenosti 0–50 cm od okraje silnice se od ostatních jedinců lišily délkou generativních orgánů; byly menší, rozdíl v hmotnosti generativních orgánů byl prokázán pouze vůči jedincům ze vzdálenosti 100–150 cm

- odhadovaná pokryvnost druhu u silnice se pohybovala v rozmezí 5–25% (kontrola 50–70%)
- při několikanásobně nižší pokryvnosti druhu *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. na stanovišti u silnice byl zjištěn vyšší průměrný počet vytvořených generativních orgánů v porovnání s kontrolou, a to ve všech sledovaných vzdálenostech od silnice
- generativní orgány jedinců od silnice byly menší a většinou měly nižší hmotnost v porovnání s generativními orgány kontroly
- nižší hmotnost generativních orgánů je důsledkem menšího počtu semen
- vzhledem ke značnému rozdílu v množství vytvořených generativních orgánů byla celková reprodukční schopnost většinou vyšší u jedinců v okolí silnice
- v jednotlivých charakteristikách generativních orgánů se téměř ve všech případech odlišovaly jedinci ze vzdálenosti 0–50 cm od okraje silnice; jejich generativní orgány byly nejmenší, nejlehčí s nejmenším počtem semen a měly nižší reprodukční schopnost plošek nejen v porovnání s ostatními dvěma vzdálenostmi u silnice, ale také s kontrolou
- vzhledem k odlišnosti jedinců ze vzdálenosti 0–50 cm od jedinců z ostatních vzdáleností byla pro tento druh potvrzena osmá dílčí hypotéza pouze částečně.

***Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.**

- výše tolerance koncentrací zasolení půdního substrátu je téměř shodná s druhem *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop., pouze hodnota koncentrace zasolení půdního substrátu 20 g/l má pro *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. velmi destruktivní následky
- dobrá vzcházivost semen při nižších koncentracích zasolení půdy 1,25 g/l, 2,5 g/l, 5 g/l (odpovídající hodnoty Ec viz. výše)
- limitující koncentrace pro vzcházivost semen je 10 g/l, kdy vzcházivost poklesla o více jak polovinu, při koncentraci zasolení půdy o hodnotě 20 g/l nevzešlo žádné semeno (odpovídající hodnoty Ec viz. výše)
- také u druhu *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. se prokázal stejný trend v rozdílnosti produkce biomasy podzemních i nadzemních orgánů vůči kontrolním jedincům, v případě nadzemní části pouze do vzdálenosti 0–50 cm od silnice
- jedinci ze vzdálenosti 0–50 cm od silnice byly statisticky prokazatelně odlišné v produkci biomasy obou částí rostliny v porovnání s jedinci rostoucími ve větší vzdálenosti od silnice
- u jedinců ze silničních stanovišť byla zjištěna menší délka i hmotnost generativních orgánů v porovnání s generativními orgány kontrolních jedinců

- jedinci ze vzdálenosti 0–50 cm se lišily v délce generativních orgánů od jedinců ze vzdálenosti 50–100 cm; byly menší, rozdíl v hmotnosti sušiny nebyl statisticky významný
- jedinci ze vzdálenosti 0–50 cm vytvořily větší počet generativních orgánů, které ale obsahovaly menší počet semen, což se projevilo v nižší reprodukční schopnost plošek (vše v porovnání s kontrolou)
- jedinci ze vzdálenosti 50–100 cm od okraje silnice naopak vytvořily menší počet generativních orgánů s množstvím semen srovnatelným s kontrolou (rozdíl v počtu semen na generativní orgán mezi touto vzdáleností a kontrolou nebyl statisticky významný); skutečnost se opět projevila v nižší reprodukční schopnost plošek v porovnání s kontrolními ploškami
- odhadovaná pokryvnost druhu u silnice se pohybovala v rozmezí 5–25% (kontrola 50–70%)
- při několikanásobně nižší pokryvnosti *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. na stanovišti u silnice byl zjištěn vyšší průměrný počet vytvořených generativních orgánů v porovnání s kontrolou pouze ve vzdálenosti 0–50 cm od silnice

Oba druhy jsou fakultativními halofyty. Nižší koncentrace zasolení půdního substrátu jsou oběma druhy dobře tolerovány a nijak neomezují jejich růst i rozmnožování. Zasolenou půdu ke svému růstu a rozmnožování však nevyžadují. Zjištěné výsledky potvrdily první dvě dílčí hypotézy disertační práce.

Získané výsledky potvrdily také určitou odolnost semen vůči nižším hodnotám koncentrací zasolení půdního substrátu a stanovily limitující hodnoty koncentrace, které již měly inhibiční nebo zcela fatální vliv na semena obou druhů plevelů. Výsledky potvrdily dílčí hypotézu č. 10. To je další skutečnost, která potvrzuje správnost označení obou druhů plevelů za fakultativní halofyty. Odpovídající odolnost semen i semenáčků vůči přítomnosti určitého obsahu rozpustných solí v půdě mají nejen halofyty (Larcher, 1988), ale často také S-R strategové a úporné plevele (Šerá, 2014). Dobrá vzcházejivost u nižších koncentrací zasolení půdy potvrdila dílčí hypotézu č. 11, kdy hodnoty koncentrace zasolení v půdě v okolí silnice v období klíčení a vzcházení semen obou druhů nebyly nijak omezující.

Jedinci populací *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. i *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. od silnice produkovaly méně biomasy podzemní i nadzemní části rostlin v porovnání s jedinci kontrolních populací. Tato skutečnost ukazuje na vliv působení specifických faktorů silničních stanovišť. Ze získaných výsledků víme, že přítomnost chloridu sodného v půdě však nemůže být v případě této silnice jediným a hlavním faktorem prostředí, který tento fakt způsobuje. Touto skutečností byla potvrzena devátá dílčí hypotéza. Na základě porovnání hodnot kvantitativních růstových charakteristik jedinců v jednotlivých vzdálenostech od silnice se v případě druhu *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. jedinci neliší. U druhu *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. však odlišnost zjištěna byla, a to v obou vzdálenostech. Pro druh *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. dílčí

hypotéza č.8 nebyla potvrzena. V případě druhu *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. tato dílčí hypotéza potvrzena byla.

V případě charakteristik generativních orgánů se jedinci obou druhů od silnice lišily od kontroly. Získané výsledky potvrdily dílčí hypotézu č. 9. V jednotlivých charakteristikách generativních orgánů se v případě druhu *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. výrazně odlišovaly jedinci ze vzdálenosti 0–50 cm od jedinců z ostatních vzdáleností. Tím byla pro tento druh pouze částečně potvrzena osmá dílčí hypotéza. Jedinci *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. na stanovištích u silnic se od sebe výrazně lišily délkou, počtem generativních orgánů i počtem semen na generativní orgán. Tím se v případě tohoto druhu potvrdila dílčí hypotéza č. 8.

Půda v okolí silnice č. 164 (podle <http://rsd.cz>)

Vzdálenost 0-50 cm od okraje vozovky (A):

- hodnoty Ec po celý rok statisticky prokazatelně vyšší v porovnání s měřenou vzdáleností C, v případě jara i se vzdáleností B
- maximální průměrná hodnota na jaře Ec 5,57 mS/cm, kvalifikována jako slabě zasolená (podle USDA)
- minimální průměrná hodnota na podzim Ec 0,69 mS/cm, kvalifikována jako nezasolená (podle USDA)
- maximální průměrná hodnota obsahu Na⁺ 2833,33 mg/kg na jaře
- minimální průměrná hodnota obsahu Na⁺ 412,53 mg/kg na podzim
- maximální průměrná hodnota na jaře pH_{H2O} 7,38, slabě alkalická reakce
- minimální průměrná hodnota na podzim pH_{H2O} 6,24, slabě kyselá reakce

Vzdálenost 50-100 cm od okraje vozovky (B):

- maximální průměrná hodnota E_c 3,35 mS/cm, jaro, nezasolená (podle USDA)
- minimální průměrná hodnota E_c 0,59 mS/cm, podzim
- maximální průměrná hodnota Na^+ 1666,67 mg/kg, jaro
- minimální průměrná hodnota Na^+ 335,57 mg/kg, podzim
- maximální průměrná hodnota pH_{H_2O} 7,09, jaro, slabě alkalická reakce (podle Vopravil et al., 2009)
- minimální průměrná hodnota pH_{H_2O} 5,94, podzim, slabě kyselá reakce (podle Vopravil et al., 2009)

Vzdálenost 100-150 cm od okraje vozovky (C):

- maximální průměrná hodnota E_c 2,18 mS/cm, jaro, nezasolená
- minimální průměrná hodnota E_c 0,56 mS/cm, podzim
- maximální průměrná hodnota Na^+ 1500 mg/kg, jaro
- minimální průměrná hodnota Na^+ 338 mg/kg, podzim
- maximální průměrná hodnota pH_{H_2O} 6,74 jaro, slabě kyselá reakce (podle Vopravil et al., 2009)
- minimální průměrná hodnota pH_{H_2O} 5,46

Výsledky měření proměnných prostředí, které charakterizují zasolení půdy (E_c , pH_{H_2O} , pH_{KCl} , obsah Na^+ iontů, obsah Cl^- iontů) potvrdily obecné trendy poklesu jejich hodnot s rostoucí vzdáleností od okraje vozovky i roční dynamiku. Byly tak potvrzeny dílčí hypotézy č. 4 a 5. Rozdíl v obsahu Cl^- iontů a výměnného pH_{KCl} mezi jednotlivými vzdálenostmi od povrchu vozovky byl při hladině významnosti 95% statisticky nevýznamný. Dílčí hypotéza č. 3 předpokládala hodnoty zasolení kvalifikované jako mírné zasolení půdy. V tomto ohledu byla potvrzena. Těchto hodnot však bylo dosaženo pouze v jarním období, a to pouze ve vzdálenosti 0-50 cm od okraje vozovky. V ostatních vzdálenostech z jara a v průběhu roku byla půda silničního stanoviště klasifikována jako nezasolená. Zde se výsledek neshoduje s dílčí hypotézou č. 3. Pro malý počet dat ohledně posouzení vlivu způsobu vedení komunikace na hodnoty zasolení půdy v jejím okolí nelze dílčí hypotézu č. 6 posoudit. Nejvyšší hodnoty zasolení půdy na šestikilometrovém úseku v okolí silnice II. třídy, č. 164 dosahovaly v jarním období po odtání sněhové příkrývky. Maximální zjištěné hodnoty E_c , se v celkově sledované vzdálenosti 0-150 cm od okraje vozovky pohybovaly v rozmezí 5,57-3,35-2,18 mS/cm. Porovnáme-li tyto hodnoty s testujícími hodnotami koncentrací roztoků a jejich převodem na E_c půdních substrátů z laboratorních pokusů se semeny i sazeničkami obou druhů plevelů, můžeme potvrdit dílčí hypotézu č. 7. Oba druhy velmi dobře tolerují uvedené maximální dosažené hodnoty zasolení půdy. V jarním období (o dva měsíce později, než byly měřeny jarní

hodnoty) klíčí a vzházejí semena obou druhů. Zjištěná výše zasolení nijak neomezuje tyto procesy. Následný růst a tvorba generativních orgánů se semeny se odehrává pod vlivem ještě nižších hodnot zasolení půdy v okolí silnice. Závěrem lze říci, že stanoviště podél silnic se stejnou nebo vyšší dynamikou zasolení půdy během roku jsou vhodným místem k výskytu a rozmnožování obou druhů. Mohou být přechodnými stanovišti odkud se tyto plevelné druhy mohou šířit dál do zemědělské krajiny.

7 Seznam použité literatury

- [1] AANEN, P.; ALBERTS, W. a col. 1991 Nature Engineering and Civil Engineering Works. Wageningen, Netherlands: Pudoc.
- [2] ANSONG, Michael, Catherine PICKERING a Axel JANKE. Are Weeds Hitchhiking a Ride on Your Car? A Systematic Review of Seed Dispersal on Cars. *PLoS ONE*. 2013-11-12, vol. 8, issue 11, e80275-. DOI: 10.1371/journal.pone.0080275. Dostupné z: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0080275>
- [3] BAUSKE, B. a D. GOETZ. Effects of de-icing salts on heavy metal mobility. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*. 1993, č. 21, s. 38-42.
- [4] BAZZAZ, F. A. 1996 Plants in Changing Environments: Linking Physiological, Population, and Community Ecology. New York: Cambridge University Press
- [5] BENNETT, A. F. 1991. Roads, roadsides and wildlife conservation: a review. Pages 99–118 in D. A. Saunders and R. J. Hobbs, editors. *Nature conservation 2: the role of corridors*. Surrey Beatty and Sons, Chipping Norton, New South Wales, Australia. ISBN 0-949324-35-3
- [6] BLOMQUIST, G. a JOHANSSON, E. L. (1999): Airborne spreading and deposition of de-icing salt – a case study. *Science of the total environment* 235: 161-168.
- [7] BOGEMANS, J., NEIRINCKX, L. and STASSART, J.M. 1989. Effect of deicing NaCl and CaCl₂ on spruce [*Picea abies* (L.) Sp.]. *Plant and Soil* 120: 203–211.
- [8] BRADY, N. C. a WEIL, R. R. *The nature and properties of soils*. 13th ed. Upper Saddle River, N. J.: Prentice Hall, c2002, xvi, 960 p. ISBN 01-301-6763-0.
- [9] BRYSON, G. M., BARKER, A. V., LAINE, K. a K. TAULAVUORI. Sodium accumulation in soils and plants along Massachusetts roadsides. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2002-01-30, roč. 33, 1-2, s. 67-78. ISSN 0010-3624. DOI: 10.1081/CSS-120002378. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/CSS-120002378>
- [10] BUCHMANN, N. 2000. Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in [*Picea abies*] stands. *Soil Biol Biochem* 32:1625-1635.
- [11] BULLOCK, J.M. a CLARKE, R.T. (2000): Long distance seed dispersal by wind: measuring and modelling the tail of the curve. *Oecologia* (2000) 124:506–521
- [12] CARR, Laurie W., Lenore FAHRIG a Shealagh E. POPE. Impacts of Landscape Transformation by Roads. *Applying Landscape Ecology in Biological Conservation*. New York, NY: Springer New York, 2002, s. 225. DOI: 10.1007/978-1-4613-0059-5_13. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4613-0059-5_13

- [13] CORRELL, D.L., T.E. JORDAN a D.E. WELLER. Cross media inputs to eastern US watter sheds and their significance to estuarine water quality. *Water Science of Technology*. 1992, 26(12), 2675–2683. Dostupné z: http://repository.si.edu/bitstream/.../serc_Correll_etal_1992_wat
- [14] COUSINS, S. A. Q. Plant species richness in midfield islets and road verges.: The effect of landscape fragmentation. *Biol.Conserv.* 2006, č. 127, s. 500-509.
- [15] D'ANTONIO, C. Mechanism controlling invasion of coastal plant communities by the alien succulent, *Carpobrotus edulis*. *Ecology*. 1993, č. 74, s. 83-95.
- [16] D'ANTONIO, Carla M. a Peter M. VITOUSEK. Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle and global change. *Annual Review of Ecology and Systematics* [online]. 1992(23), 63-87. Dostupné z: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.23.110192.000431>
- [17] DEYL, M. a O. UŠÁK. *Plevele polí a zahrad*. Praha: Akademie věd, 1964.
- [18] DOVE, J., 1997. Investigating roadside verges. *Journal of Biological Education*, Vol. 31, No. 3, pp. 213-217.
- [19] FARMER, Andrew M. The effects of dust on vegetation—a review. *Environmental Pollution* [online]. 1993, 79(1), 63-75 [cit. 2017-05-30]. DOI: 10.1016/0269-7491(93)90179-R. ISSN 02697491. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/026974919390179R>
- [20] FORMAN, R., T., T., a col. *Road ecology: science and solutions*. Washington: Island Press, 2002. 481 s.
- [21] FORMAN, Richard T. T. a Lauren E. ALEXANDER. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*[online]. 1998, vol. 29, issue 1, s. 207-231 [cit. 2015-04-14]. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.29.1.207.
- [22] FORMAN, Richard T. T. a Robert D. DEBLINGER. The Ecological Road-Effect Zone of a Massachusetts (U.S.A.) Suburban Highway. *Conservation Biology* [online]. 2000, 14 (1), 36-46 [cit. 2017-05-30]. DOI: 10.1046/j.1523-1739.2000.99088.x. ISSN 08888892. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1523-1739.2000.99088.x>
- [23] FORMAN, Richard T. *Road ecology: science and solutions*. Washington, DC: Island Press, c2003, xix, 481 p. ISBN 15-596-3933-4.
- [24] FRENKEL, Robert E. Ruderal Vegetation Along Some California Roadsides (California library reprint series). Berkeley: *University of California Press*, 1978.
- [25] GILBERT, O. L. 1991 *The Ecology of Urban Habitats*. London: *Chapman and Hall*

- [26] GJESSING, E., LYGREN, E., BERGLIND, L., GULBRANDSEN, T., and SKAANE, R. (1984) Effects of highway runoff on lake water quality. *The Science of the Total Environment* 33: 245-257.
- [27] GRIGORE, M. 2012 - Romanian salt tolerant plants - Taxonomy and ecology - Tehnopress, ISBN 978-973-702-923-2.
- [28] HARPER, J. L. (1977). Population Biology of Plants. New York, NY: Academic Press, 892 p.
- [29] HARRISON, Susan. *Biological Invasions*. vol. 4, issue 4, s. 425-430. DOI: 10.1023/A:1023646016326. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1023/A:1023646016326>
- [30] HODKINSON, D.J. a THOMPSON, K. (1997): Plant dispersal: the role of man. *Journal of Applied Ecology* 34: 1484-1496.
- [31] HOLZAPFEL, C. a W. SCHMIDT. Roadside vegetation along transects in the Judean desert. *Israel Journal of Botany*. 1990, č. 39, s. 263-70.
- [32] JANTUNEN, J., K. SAARINEN, A. VALTONEN a S. SAARNIO. Grassland vegetation along roads differing in size and traffic density. *Ann. Bot. Fennici*. 2006, č. 43, s. 107-117.
- [33] JEHLÍK V. 1998 - Alien expansive weeds of the Czech Republic and the Slovak Republic. Vyd. 1. Praha – Academia, 506 p. ISBN 80-200-0656-7.
- [34] JURSIK, M., HOLEC J., HAMOUS P., SOUKUP J. 2011 - Weed biology and regulation. - Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-87111-27-7.
- [35] KNEIFOVÁ, M., MIKULKA, J. Významné a nově se šířící plevely. Praha: ÚZPI, 2003. 59 s. ISBN 80-7271-142-3
- [36] KUBÁT, K., HROUDA, L., CHRTEK, J. jun., KAPLAN, Z., KIRSCHNER, J., ŠTĚPÁNEK, J. (eds.) Klíč ke květeně České republiky. Academia Praha, 2002.
- [37] KUIPER, D., SCHUIT, J., KUIPER, P.:J:C: 1990. Actual cytokinin concentrations in plant tissue as an indicator for salt resistance in cereals. *Plant Soil* 123:243-250.
- [38] LARCHER, W. *Fyziologická ekologie rostlin*. 1. vyd. Praha: Academia, 1988, 368 str.
- [39] LEGRET, M a C. PAGOTTO. Evaluation of pollutant loadings in the runoff waters from a major rural highway. *Science and the Total Environment*. 1999, č. 235, s. 143-50.
- [40] LIPSKÝ, Zdeněk. Sledování změn v kulturní krajině: učební text pro cvičení z předmětu Krajinná ekologie. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 1999. ISBN 80-213-0643-2.

- [41] MAUN, M. A., BARRETT S. C. H. 1986 - The biology of canadian weeds: 77. *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. - *Canadian Journal of Plant Science*. vol. 66, issue 3, s. 739-759. DOI: 10.4141/cjps86-093. Available from: <http://pubs.aic.ca/doi/abs/10.4141/cjps86-093>
- [42] MIKULKA, Jan a Radmila BĚLOHLÁVKOVÁ. Plevelné rostliny polí, luk a zahrad: Alien expansive weeds of the Czech Republic and the Slovak Republic. Vyd. 1. Praha: *Farmář-zemědělské listy*, 1999, 927 p. ISBN 80-902-4132-8.
- [43] MIKULKA, Jan a Lucie SLAVÍKOVÁ. *Metody diagnostiky a regulace rezistentních populací plevelů vůči herbicidům: uplatněná metodika*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2008. ISBN 978-80-87011-50-8.
- [44] MLÍKOVSKÝ, J. a STÝBLO P. *Nepůvodní druhy fauny a flóry České republiky*. Praha: ČSOP, 2006. ISBN 80-86770-17-6
- [45] MORIN, P. J. 1999 Community Ecology. Malden, Mass.: *Blackwell Science*
- [46] MUNNS, R. Physiology of Salt and Water Stress. *Plant Cell Environment*. 2002, 2(25), 239-250.
- [47] Nepůvodní a invazní druhy. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: MŽP, 2018 [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/nepuvodni_a_invazni_druhy
- [48] NORRSTRÖM, A. C. a E. BERGSTEDT. *Water, Air, and Soil Pollution*. vol. 127, 1/4, s. 281-299. DOI: 10.1023/A:1005221314856. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1023/A:1005221314856>
- [49] NORTHOVER, J. 1987. NaCl injury to dormant roadside peach trees and its effect on incidence of infections by *Leucostoma* spp. *Phytopathology* 77:835-840
- [50] NORTON, D. A, R. J. HOBBS a L. ATKINS. Fragmentation, disturbance, and plant distribution: Mistletoes in woodland remnants in the Western Australian wheatbelt. *Biological Conservation*. 1995, č. 9, s. 426-38.
- [51] OBERTS, G. Pollutants associated with sand and silt applied to roads in Minnesota. *Water Resources Bulletin*. 1986, č. 20, s. 479-83.
- [52] PAREEK, A., SOPORY, S., BOHNERT, H.J. and GOVINDJEE, G. *Abiotic Stress Adaptation in Plants*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. DOI: 10.1007/978-90-481-3112-9. ISBN 978-90-481-3111-2.
- [53] O Agentuře ochrany přírody a krajiny ČR. *AOPK ČR* [online]. Praha: AOPK ČR, 2018 [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <http://www.ochranaprirody.cz/o-aopk-cr/>

- [54] PARENDES, Laurie A. a Julia A. JONES. Role of Light Availability and Dispersal in Exotic Plant Invasion along Roads and Streams in the H. J. Andrews Experimental Forest, Oregon. *Conservation Biology* [online]. 2000, vol. 14, issue 1, s. 64-75 [cit. 2015-04-14]. DOI: 10.1046/j.1523-1739.2000.99089.x.
- [55] PAUCHARD, Aníbal a Paul B. ALABACK. Influence of Elevation, Land Use, and Landscape Context on Patterns of Alien Plant Invasions along Roadsides in Protected Areas of South-Central Chile. *Conservation Biology* [online]. 2004, vol. 18, issue 1, s. 238-248 [cit. 2015-04-14]. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2004.00300.x. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1523-1739.2004.00300.x>
- [56] PAULEROVÁ, Barbora. *Studium vlivu solení pozemních komunikací na doprovodnou vegetaci*. Praha, 2007. Diplomová práce. PŘF UK Praha. Vedoucí práce Doc.RNDr. Ivan Suchara, CSc.
- [57] Posypové materiály pro zimní údržbu komunikací v ČR a v zemích EU. *Ekolist* [online]. Praha: BEZK, 2001 [cit. 2016-07-17]. Dostupné z: <http://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/posypove-materialy-pro-zimni-udrzbu-komunikaci-v-cr-a-v-zemich-eu>
- [58] ŘEPKA, Radomír. Vetřelci a invazní rostliny v krajině - pohled neinvazního botanika. *Veronika* [online]. 2014, 2/2014, (2), 6-9 [cit. 2019-06-22]. ISSN 1213-0699. Dostupné z: <http://www.casopisveronica.cz/>
- [59] PYŠEK, Petr. Rostlinné invaze v současném světě - fakta, příčiny a souvislosti. *Živa* [online]. Academia, SSČ AV ČR v.v.i, 2018, 2018(5), 214-217 [cit. 2019-06-22]. Dostupné z: <http://ziva.avcr.cz>
- [60] PYŠEK, Petr a Lubomír TICHÝ. Rostlinné invaze. Brno: *Rezekvítek*, 2001. 40 s. ISBN 80-902954-4-4.
- [61] (PYŠEK, Petr a Lubomír TICHÝ. Rostlinné invaze. PYŠEK, Petr a Lubomír TICHÝ. Rostlinné invaze [online]. Brno: *Rezekvítek*, 2001, s. 40 [cit. 2019-06-22]. ISBN 80-902954-4-4. Dostupné z: is.muni.cz)
- [62] PYŠEK, P. (1996): Synantropní vegetace. BÚ AV ČR, Průhonice.
- [63] PYŠEK, P., J. SÁDLO a B. MANDÁK. Catalogue of alien plants of the Czech Republic. *Preslia*. 2002, č. 74, s. 97-186.
- [64] SAUNDERS, Denis A., Richard J. HOBBS a Chris R. MARGULES. Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation: A Review. *Conservation biology* [online]. 1991 (1), 18-32. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1991.tb.00384.x>
- [65] SCOTT, N. E. a A. W. DAVISON. The distribution and ecology of coastal species on roadsides. *Vegetatio*. 1985, č. 62, s. 433-40.

- [66] SKÁLOVÁ, H. a kol. Invaze ve faktech a termínech. *Veronika* [online]. Brno, 2014, 2014(2), 2-5 [cit. 2019-06-22]. Dostupné z: <http://www.casopisveronica.cz/>
- [67] SLAVÍKOVÁ, J. *Ekologie rostlin*. Praha: SPN, 1986. 366 s.
- [68] SMITH, R.L. 1996 *Ecology and Field Biology*. New York: Harper Collins
- [69] SPELLERBERG, I. F. The ecological effect of Roads. *Land Reconstruction and Management*. Vol. 2. Enfield: Science Publishers, 2002, 251 s.
- [70] SUCHARA, I. (1986): Účinky používání posypových solí na půdu a rostliny v okolí dálnice. Záv. zpr. VŠÚOZ Průhonice.
- [71] ŠERÁ, B. Road Vegetation in Central Europe – an Example from the Czech Republic. *Biologia*. 2008, 63/6, s. 1085-1088.
- [72] ŠERÁ, Božena, GAJDOVÁ, Iveta a Markéta NOVÁKOVÁ. 2014. Příspěvek k mapování plasticity u ježatky kuří nohy (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. B.) v solí kontaminované půdě. In: *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin*. Praha: ČZU, s. 29-34. ISBN 978-80-213-2475-6.
- [73] ŠERÁ, Božena. Road-side herbaceous vegetation: life history and habitat preferences. *Polish Journal of Ecology*. 2010, Vol 58 (1), s. 69-79.
- [74] ŠERÁ, Božena. Stress tolerant plant species spread in the road-net. *Ecological Questions*. 2011-07-15, vol. 14, Vol 58 (1), s. 45-. DOI: 10.12775/v10090-011-0013-8. Dostupné z: <http://www.apcz.pl/czasopisma/index.php/EQ/article/view/v10090-011-0013-8>
- [75] ŠERÁ, Božena, GAJDOVÁ, Iveta a Markéta NOVÁKOVÁ. 2014. Příspěvek k mapování plasticity u ježatky kuří nohy (*Echinochloa crus-galli* (L.) P.B.) v solí kontaminované půdě. In: *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin*. Praha: ČZU, s. 29-34. ISBN 978-80-213-2475-6.
- [76] TAHKOKORPI, M., TAULAVUORI, E., LAINE, K. a K. TAULAVUORI. Severe salt stress in *Vaccinium myrtillus* (L.) in response to Na ion toxicity. *Environmental and Experimental Botany*. 2012, roč. 76, č. 22, s. 49-53. ISSN 00988472. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2011.10.008. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0098847211002498>
- [77] TESTER, M. and DAVENPORT, R. 2003. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany* 91, 503–527.
- [78] TOWNSEND, C. R.; HARPER, J.L. ; BEGON, M. 2000 *Essentials of Ecology*. Malden, Mass.: *Blackwell Science*
- [79] TROMBULAK, Stephen C. a Christopher A. FRISSELL. Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. *Conservation*

- Biology* [online]. 2000, 14(1), 18-30 [cit. 2017-05-03]. DOI: 10.1046/j.1523-1739.2000.99084.x. ISSN 08888892. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1523-1739.2000.99084.x>
- [80] ULLMAN, I. a Heindl, B. (1989): Geographical and Ecological Differentiation of Roadside Vegetation in Temperate Europe. *Botanica Acta* 102: 261-269.
- [81] UNDERHILL, J. E a P. G. ANGOLD. Effects of roads on wildlife in an intensively modified landscape. *Environmental Review*. 2000, č. 8, s. 21-39.
- [82] UNGAR, I. A. Ecophysiology of vascular halophytes. Boca Raton: CRC Press, c1991, 209 p. ISBN 08-493-6217-2.
- [83] UVA, R.H., J.C. NEAL a J.M. DITOMASO. *Weeds of the northeast*. Comstock Pub. Associates, 1997. ISBN 0801483344,9780801483349.
- [84] VAN DER SLUIJS, J. a H. D. VAN BOHEMEN. Green elements of civil engineering works and their (potential) ecological importance, *In Nature Engineering and Civil Engineering Works: edited by P.Aanen, W. Alberts, G.J. Bekker, et al. Wageningen, Netherlands: Pudoc*. 1991, s. 21-32.
- [85] VANANGAMUNDI, M., S. BHASKARAN a A.M. BALAVIDHYA. *Weed seed biology*. Jodhpur: Scientific Publishers (India), 2013. ISBN 978-81-7233-827-5.
- [86] VERMEULEN, H. J. W a P. F. M OPDAM, Effectiveness of roadside verges as dispersal corridors for small ground-dwelling animals: A simulation study. *Landscape and Urban Planning*. 1995, č. 31, s. 233-48.
- [87] VERMEULEN, H. J. W. Corridor function of a road verge for dispersal of stenotopic heathland ground beetles (Carabida). *Biological Conservation*. . 1994, č. 69, s. 339-49.
- [88] VOPRAVIL, J. et al. 2010 - [Soil and its assessment in the Czech Republic] - 2. vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 148 s. ISBN 978-808-7361-054.
- [89] WEGNER, W. a YAGGI, M. (2001): Environmental Impacts of Road Salt and Alternatives in the New York City Watershed. – Stormwater, *The Journal for Surface Water Quality Professionals*. January, 2001. http://www.forester.net/sw_0107_environmental.html
- [90] WHITTAKER, R. H. 1975 *Communities and Ecosystems*. New York: Macmillan
- [91] ZENG, Sheng-ian, Ting-Ting ZHANG a Yu GAO. Road effects on vegetation composition in a saline environment. 2012, č. 5/2. DOI: 10.1093/jpe/rtr 014

8 Soubor publikací tvořících disertační práci

- [1] ŠERÁ, Božena, HRUŠKOVÁ, Iveta a Markéta NOVÁKOVÁ. 2011. Response of the *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. to the soil salinity – a greenhouse experiment. In: *Ecological Questions*. DOI: 10.12775/v10090-011-0010-y.
- [2] NOVÁKOVÁ, Markéta, GAJDOVÁ, Iveta a Božena ŠERÁ. 2012. Nárůst biomasy u rosičky krvavé (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.) v solí kontaminované půdě: skleníkový experiment. In: *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin*. Praha: ČZU, s. 227-230. ISBN 978-80-213-2247-9.
- [3] ŠERÁ, Božena, GAJDOVÁ, Iveta a Markéta NOVÁKOVÁ. 2014. Příspěvek k mapování plasticity u ježatky kuří nohy (*Echinochloa crus-galli* (L.) P.B.) v solí kontaminované půdě. In: *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin*. Praha: ČZU, s. 29-34. ISBN 978-80-213-2475-6.
- [4] NOVÁKOVÁ, Markéta, Božena ŠERÁ a Pavel CUDLÍN. Roadside habitats: the impact of salinization on the occurrence, growth and reproduction of two weed species *Echinochloa crus-galli* and *Digitaria sanguinalis*. *Polish journal of ecology*. Polish Academy of Sciences, 2019, ISSN 1505-2249.

Response of the *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. to the soil salinity – a greenhouse experiment

Božena Šerá, Iveta Hrušková, Markéta Nováková

Institute of Nanobiology and Structural Biology of GCRC, Na Sádkách 7,
České Budějovice, CZ – 37005, Czech Republic
e-mail:sera@usbe.cas.cz

Summary. Large crabgrass is not registered in the Ellenberg's list of halophyte species, but it grows in salt contaminated soil along roads. Our manipulative experiment in greenhouse was focused on growth activities of Large crabgrass in salt soil condition. Saline solutions of sodium chloride were 0, 0.12, 0.25, 0.50, 0.99, and 1.96%. The experiment confirmed the successful growth and development of Large crabgrass in soil contaminated with salt (0.12% of NaCl). The inhibitive effect was found in soil with NaCl concentration more than 0.12%.

Key words: plant growth, soil contamination, weed.

1. Introduction

Large crabgrass (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop) is a summer annual species, having a prostrate or ascending growth habit with stems that root at the nodes. Stems are prostrate, spreading, branched, and rooting at the nodes. Fibrous root system corresponds with Poaceae family. It is non-native, invasive species in Europe (Jehlík 1998), which produce a large number of seeds per year (Šerá & Šerý 2004). Large crabgrass is considered to be an aggressive weed in some subtropical crops, mainly sugarcane, corn and soya. In Europe, it is a troublesome weed in corn (Mikulka et al. 2005). Large crabgrass has spread very quickly along all class roads (motorways with median stripes; roads of the I, II and III classes) in the Czech Republic (Šerá 2008). It is way, why this species probably belong to dangerous weed that could spread to agricultural areas via road network.

2. Materials and methods

The soil substrate consisted of two parts: a horticultural-flower potting soil (purchased from Rašelina a.s., Soběslav, Czech Republic) mixed with sand in a 2:1 ratio. The parts of the substrate used were sieved through a screen (mesh 3 x 3 mm). The soil substrates were neither fertilized nor sterilized. The soil mixture was enriched with pulverized limestone (3 g per 5 l) and 14 g of dried knotweed leaves were added per 1 l of soil substrate. Plastic flowerpots of size 4 x 4 x 6 cm were filled with 30 ml of the substrate and placed onto a watering tray.

The tested plants were collected on their field localities in the vicinity of České Budějovice, Czech Republic during spring 2010. Only undamaged vital seedlings of Large crabgrass were collected. One seedling was planted in each flowerpot. When the seedlings started to grow, the treatments (A–E) began to carry out. The soil substrate was contaminated by saline solution of NaCl: A 0.12%, B 0.25%, C 0.50%, D 0.99% and E 1.96%. Control sample

Table 1. Growth characteristics of Large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*) cultivated in saline soil. Used saline solution of NaCl: K – 0%, A – 0.12%, B – 0.25%, C – 0.50%, D – 0.99% and E – 1.96%.

Treatment	Root length (mm)			Shoot length (mm)			Root weight (mg)			Shoot weight (mg)		
	Mean	SD	HSD	Mean	SD	HSD	Mean	SD	HSD	Mean	SD	HSD
K	124.00	20.63	a	476.08	37.37	a	0.022	0.006	a	0.087	0.033	a
A	130.00	29.43	a	468.75	44.57	a	0.021	0.007	a	0.091	0.026	a
B	94.50	27.45	b	413.00	50.95	b	0.014	0.005	b	0.086	0.029	a
C	111.67	26.75	a	384.42	45.30	bc	0.011	0.005	b	0.068	0.021	a
D	75.50	11.89	c	345.25	66.00	c	0.013	0.003	b	0.077	0.018	a
E	56.33	17.24	c	110.25	17.44	d	0.005	0.001	c	0.023	0.008	b

(K) was without saline contamination. For each assay (K, A–E), 144 flowerpots were prepared (132 flowerpots for using and 12 flowerpots as reserve).

The Large crabgrass plants were incubated in a greenhouse at 18°C during the day and 10°C at night for three months. The soil was regularly irrigated on the trays with the same amount of water. In time measurement data, 12 plants were removed from the flowerpots and measured. The morphological characteristics were registered: length and weight of root and shoot, number of leaves and inflorescences, ear weight.

One-way ANOVA and post hoc comparison of Tukey's HSD test were used for data processing to evaluate the influence of each saline soil on growth and development of Large crabgrass plants. All the statistical tests were performed at the 0.05 level of statistical significance.

3. Results and discussion

Analysis of variance results revealed that increasing salinity reduces growth of Large crabgrass plants. Significant differences between control sample and treatment samples were found (Tab. 1). No differences were calculated between control sample and plants growing in saline soil with saline solution of 0.12% NaCl. The strongest growth inhibition was found in soil salinity of 1.96%. The plants were small, dried biomass was low, leaves was greyish green, but some plants flowered and produced seeds.

Soil salinity is a widespread problem that restricts plant species growth and agriculture production in many areas (Apse et al. 1999). Salt tolerance is the ability of plants to survive and grow under saline soil conditions. Salt tolerance is a variable trait that depends on many factors, above all on a taxonomic affiliation (Volkmar et al. 1998). Plants generally vary in response to soil salinity and Large crabgrass is not registered as a salt-tolerant plant species (Ellenberg et al. 1992).

Our preliminary results from manipulative experiment in greenhouse show that the Large crabgrass is able "to grow normally" in a contaminated saline soil, if the concentration of NaCl is 0.12%. Higher concentration of NaCl is closed with significant lower length/weight of root and shoot. Some of the plants growing in soil with concentration of 1.96% NaCl flowered and produced seeds.

Acknowledgements

This paper was supported by project No. OC10032 of the MEYS (MŠMT), as well as by the research plan No. AV0Z60870520.

References

- Apse M. P., Dharon G. S., Snedden W. A. & Bumerold E., 1999, Salt tolerance conferred by overexpression of a vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter in *Arabidopsis*, *Science* 285: 1256–1258.
- Ellenberg H., Weber H. E., Düll R., Wirth V., Werner W. & Paulißen D., 1992, Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa, 18: 9–160.
- Jehlík V., 1998, Cizí a expanzivní plevele České republiky a Slovenské republiky [Alien and expansive weeds of the CR and SR], Praha, Academia.
- Mikulka J. & Kneifelová M. (eds.), 2005, Plevelně rostliny [Weed plants], Praha, Profi Press.
- Šerá B., 2008, Road vegetation in Central Europe – an example from the Czech Republic, *Biologia* 63: 1081–1084.
- Šerá B. & Šerý M., 2004, Relation between number and weight of seeds and reproductive strategies in herbaceous plants, *Folia Geobotanica* 39: 27–40.
- Volkmar K. M., Hu Y. & Steppuhn H., 1998, Physiological responses of plants to salinity: a review, *Canadian Journal of Plant Science* 78: 19–27.

NÁRŮST BIOMASY U ROSIČKY KRVAVÉ (*DIGITARIA SANGUINALIS* (L.) SCOP.) V SOLÍ KONTAMINOVANÉ PŮDĚ – SKLENÍKOVÝ EXPERIMENT

THE GROWTH OF LARGE CRABGRASS (DIGITARIA SANGUINALIS (L.) SCOP.) BIOMASS IN SALT CONTAMINATED SOIL – A GREENHOUSE EXPERIMENT

Markéta Nováková, Iveta Gajdová, Božena Šerá

Ústav nanobiologie a strukturní biologie CVGZ Akademie věd České republiky, Na Sádkách 7, 37005 České Budějovice, Česká republika, gajdova@nh.cas.cz

Summary

Large crabgrass (*Digitaria sanguinalis* (L.) SCOP.) is not registered on the list of Ellenbergs halophytic plant species. Despite it is a frequent species commonly growing along the roads on salt contaminated soils. The tests in the greenhouse were focused on finding the values of salinity in which Large crabgrass may produce biomass. Standard soil substrate contaminated by salt NaCl in the range from 0.12 % to 1.96 % was used. Tests have shown successful growth of underground and aboveground biomasses of tested plants in soil contaminated by lower concentrations of salt. Some plants despite the loss of biomass at higher concentrations were able to create generative organs with seeds. It was documented that Large crabgrass is a facultative halophyte.

Key words: halophytic species, weed, NaCl, stress

Souhrn

Rosička krvavá (*Digitaria sanguinalis* (L.) SCOP.) není uvedena na Ellenbergově seznamu halofytních druhů rostlin. Přesto je častým druhem běžně rostoucím podél silnic na solí kontaminovaných půdách. Testy ve skleníkovém prostředí byly zaměřeny na zjištění výše hodnot zasolení, při kterých rosička krvavá produkuje biomasu a při kterých již se projeví ztráty na biomase. Použit byl standardní půdní substrát kontaminovaný NaCl v rozsahu 0,12-1,96 %. Testy prokázaly úspěšný nárůst podzemní i nadzemní biomasy u substrátů s nižší koncentrací NaCl. U vyšších koncentrací byly některé rostliny i přes ztráty na biomase schopné vytvořit generativní orgány a zralá semena. Bylo tak potvrzeno, že rosička krvavá je fakultativním halofytem.

Klíčová slova: halofytní druh, plevel, NaCl, stres

ÚVOD

Rosička krvavá (*Digitaria sanguinalis* (L.) SCOP.) je jednoletá trsnatá plevelná tráva zakořeňující bohatými svazčitými kořeny. Rozmnožuje se pouze generativně. Na jedné rostlině dozrává 200 – 2000 semen. Je rozšířena v teplejším a mírném pásu celého světa. U nás se vyskytuje především v teplejších oblastech na písčitých půdách. Roste zejména na úhorech, kolem cest, na rumištích, v železničních kolejištích, dlažbách chodníků, okrasných květinových plochách, zeleninových záhonech, ve vinicích, na polích a jiných stanovištích /1,

2, 8/. Rosička krvavá je úporným plevelem /3/, který patří mezi invazní nepůvodní druhy naší flóry /4/. Prostor podél silnic je významným habitatem pro jeho výskyt a cestou pro úspěšné šíření tohoto nepříjemného plevele /5 - 7/.

Cílem tohoto pokusu bylo zjistit stupeň tolerance rosičky krvavé vůči množství zasolení půdního substrátu a potvrdit, že se jedná o druh tolerantní vůči NaCl v půdě.

MATERIÁL A METODA

Manipulativní pokusy s rosičkou krvavou probíhaly ve skleníku. K pěstování byly použity plastové květináče o rozměrech 4x4x6 cm, do kterých byl umístěn filtrační papír a 60 ml půdní směsi složené z běžného zahradního substrátu a písku v poměru 2:1. Výsledná půdní směs byla proseta sítím o rozměru 3x3 mm. Pro každou variantu zasolení bylo uvedeným způsobem připraveno celkem 144 květináčů, které byly rozděleny do tří zavlažovacích zásobníků. Semenačky nepoškozených zcela vitálních rostlin rosičky krvavé pocházely z bezprostředního okolí Českých Budějovic a byly jednotlivě zasazeny do připravených květináčů. Poté co se semenačky ujaly, došlo k zalití roztokem NaCl, a to v množství 20 ml/květináč (celkem 1 l roztoku na jeden zavlažovací zásobník). Hodnoty koncentrací roztoku NaCl byly: K 0 %, A 0,12 % B 0,25 % C 0,50 % D 0,99 % a E 1,96 %. Kontaminace solným roztokem byla provedena pouze jednou. Po dobu kultivace byly rostliny zalévány přes zavlažovací zásobník stejným množstvím odstáté čisté vody.

Pro jednotlivá měření (destruktivní charakter) bylo vždy použito 12 rostlin. Byly sledovány tyto charakteristiky: délka nadzemní a podzemní části rostliny, množství zdravých zelených a poškozených listů, počet generativních orgánů, dále pak hmotnost sušiny nadzemní a podzemní části. Zjištěná data byla statisticky vyhodnocena jednofaktorovou analýzou variace (ANOVA).

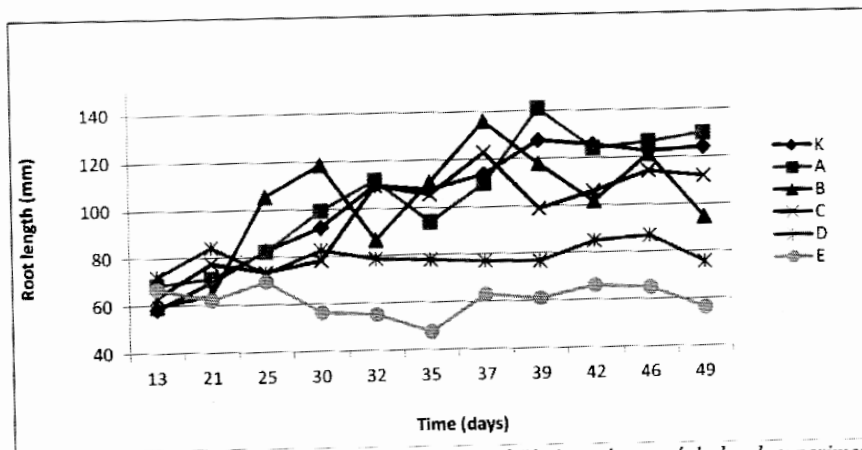
VÝSLEDKY A DISKUSE

Prvním hodnoceným parametrem byla délka kořenového aparátu. V obrázku 1 je zjevné, že do 30. dne experimentu mají křivky průměrných hodnot značně nepravidelný charakter. Od 32. dne se křivky rozdělují na dvě dobře rozlišitelné skupiny. První obsahuje vzorky K, A, B, C a druhá D a E. Délky kořenového aparátu se v první skupině pohybovaly mezi 80 až 110 mm a v druhé skupině byly v tento den dlouhé pouze 55 až 75 mm. Z tohoto je patrné, že při vyšší koncentraci zasolení docházelo k inhibici růstu kořenového aparátu.

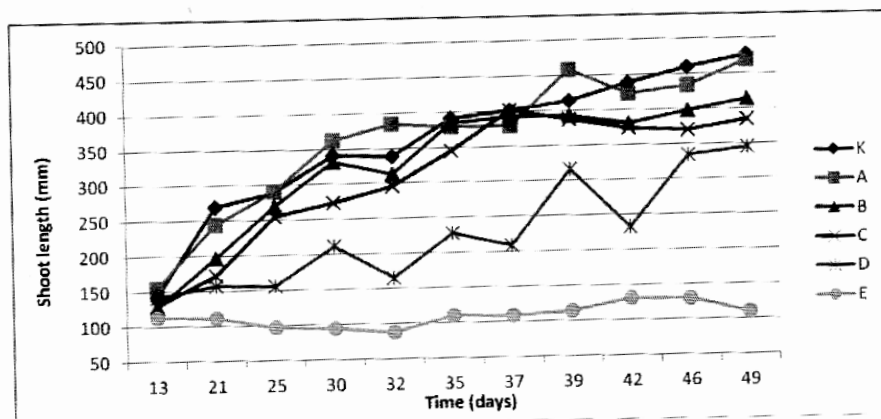
Hodnotíme-li délky nadzemní části rostliny (Obr. 2), reakce nadzemní části na zasolení byla rychlejší. Křivky byly již 25. dnem pokusu jasně rozděleny do tří skupin - první (K, A, B, C), druhá (D) a třetí s nejvyšší koncentrací zasolení (E). Rozmezí hodnot dělek se pohybovaly 32. dnem experimentu v těchto hodnotách: první skupina v rozmezí 250 až 300 mm, druhá skupina 150 mm a třetí skupina 90 mm. Rostliny tedy velmi dobře tolerovaly nízké hodnoty zasolení (do 0,50 %). Při vyšší koncentraci solí v půdě docházelo ke zpomalení růstu.

Po zjevné diferenciaci odpovědi rostlin na zasolení (Obr. 1 a 2) bylo možno hodnotit poměr zdravých zelených listů a listů poškozených (42. den experimentu). U nižších koncentrací byl viditelný převažující podíl zdravých zelených listů nad listy, které vykazovaly známky poškození. Poškozené listy byly zažloutlé nebo suché (Obr. 3). U vyšších koncentrací

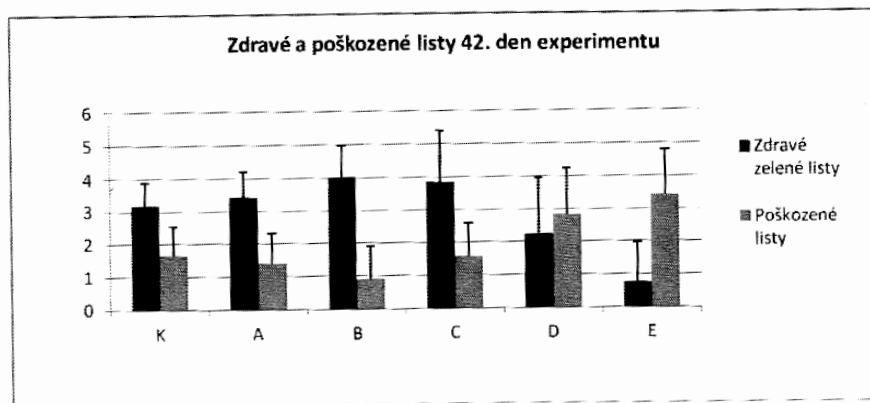
soli (D a E) byl poměr opačný a společně s předchozími hodnocenými vlastnostmi (Obr. 1 a 2) ukazoval na nepříznivou vysokou míru zasolení půdy.



Obr. 1: Naměřené průměrné hodnoty délek podzemní části ve významných dnech experimentu pro jednotlivé koncentrace zasolení (K – kontrola, A – 0,12 %, B – 0,25 %, C – 0,50 %, D – 0,99 %, E – 1,96 %)



Obr. 2: Naměřené průměrné hodnoty délek nadzemní části ve významných dnech experimentu pro jednotlivé koncentrace zasolení (K – kontrola, A – 0,12 %, B – 0,25 %, C – 0,50 %, D – 0,99 %, E – 1,96 %)



Obr. 3: Poměr zdravých zelených a poškozených listů 42. den experimentu pro jednotlivé koncentrace zasolení (K – kontrola, A – 0,12 %, B – 0,25 %, C – 0,50 %, D – 0,99 %, E – 1,96 %)

Výsledky experimentu ukazují, že rosička krvavá je do určité míry tolerantní vůči soli. Zasolení substrátu o koncentracích 0,12 %, 0,25 % a 0,50 % NaCl nijak neomezuje růst a vývoj rostlin. Koncentrace 0,99 % a 1,97 % vedou ke stagnaci růstu rostlin a nárůstu rozdílu počtu zdravých zelených listů a listů poškozených ve prospěch listů poškozených. Tyto výsledky potvrzují, že rosička krvavá patří mezi fakultativní halofyty. Ke svému růstu nevyžaduje zasolenou půdu, přesto v ní dokáže růst, vytvořit generativní orgány a vysemenit se.

LITERATURA

- /1/ Jehlík, V. (ed.): Cizí a expanzivní plevele České republiky a Slovenské republiky. Academia Praha, 1998.
- /2/ Kubát, K., Hrouda, L., Chrtek, J. jun., Kaplan, Z., Kirschner, J., Štěpánek, J. (eds.) Klíč ke květeně České republiky. Academia Praha, 2002.
- /3/ Míkulka J., Kneifelová M., Martinková Z., Soukup J., Uhlík J.: Plevelné rostliny. Profi Press Praha, 2005.
- /4/ Pyšek, P., Sádlo, J., Mandák, B.: Catalogue of alien plants of the Czech Republic. Preslia 74, 2002: 97-186.
- /5/ Šerá B.: Stress tolerant plant species spread in the road-net. Ecological Question 14, 2011: 45-46.
- /6/ Šerá B.: Roadsides function as halophyte habitats in the landscape. - 149-154 p., In: Adamec & Jandová V. (eds), Transport, health and environment, IV Czech-Slovak Scientific Conference, Blansko, November 2-3, 2010, Transport Research Centre, Brno, 2010a.
- /7/ Šerá B.: Road-side herbaceous vegetation: life history and habitat preferences. Polish Journal of Ecology 58, 2010b: 69-79.
- /8/ www.jvsystem.net: Herba atlas plevelů 2010, *Digitaria sanguinalis* (L.) SCOP., datum: 2011-10-21.

Poděkování

Tato práce je součástí mezinárodní spolupráce COST Akce FA0901 a byla finančně podpořena grantem MŠMT č. OC 10032.

**PŘÍSPĚVEK K MAPOVÁNÍ PLASTICITY U JEŽATKY KUŘÍ NOHY
(*Echinochloa crus-galli* (L.) P.B.) V SOLÍ KONTAMINOVANÉ PŮDĚ**

***CONTRIBUTION TO THE PLASTICITY OF BARNYARDGRASS
(Echinochloa crus-galli (L.) PB) IN THE SALT CONTAMINATED SOIL***

Šerá B.^{1,2}, Gajdová I.², Nováková M.²

¹Katedra biologie, Pedagogická fakulta, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Jeronýmova 10, 371 15 České Budějovice, Česká republika

²Ústav nanobiologie a strukturní biologie CVGZ AV ČR, Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice, Česká republika

Summary

Barnyardgrass (*Echinochloa crus - galli* (L.) PB) is one of the major weed, growing especially in the warmer parts of our country. This species was repeatedly finding about different types of communications during a research of vegetation along roads and highways. Probably, the species has wide niche that allows it to exist even in adverse conditions, e.g. salt-contaminated area along roads. The aim of the study was to confirm that barnyardgrass can grow successfully in the salted substrate and how a concentration of NaCl may inhibited its growth. Growing tests were carried out in a cultivate room on young plants which were grown in standard soil substrate with added sodium chloride (NaCl: 0.00 %, 0.12 %, 0.25%, 0.50%, 0.99 %, 1.96 %). The study found a successful growth of under – and aboveground biomass in substrates with lower concentrations of NaCl (to 0.50 %). In the substrate from concentration of 0.99 % a significant decrease of dry biomass and production of both under – and aboveground organs were found. Plant growth under different salinity stress is discussed in more detail in the text.

Key words: barnyardgrass, halophytic species, weed, NaCl, stress

Souhrn

Ježatka kuří noha (*Echinochloa crus-galli* (L.) P.B.) patří mezi významné plevely okopanin především v teplejších částech našeho státu. Při výzkumu vegetace rostoucí kolem silnic a

dálnic byl tento druh opakovaně nacházen kolem různých typů komunikací. Druh má pravděpodobně širokou niku, která umožňuje jeho růst i v nepříznivých podmínkách solí kontaminovaných okolí silnic. Cílem práce bylo potvrdit, že ježatka kuří noha může úspěšně růst v zasoleném substrátu a také stanovit, jaká koncentrace solí je pro její růst inhibující. Testy v růstové místnosti probíhaly na mladých rostlinách, které byly pěstovány ve standardním půdním substrátu s přidáním chloridem sodným (NaCl:0,12 %, 0,25 %, 0,50 %, 0,99 %, 1,96 %). Testy prokázaly úspěšný nárůst podzemní i nadzemní biomasy u substrátů s koncentrací NaCl nižší nebo rovno 0,99 %. U koncentrace 1,96 % byl zjištěn významný pokles v přírůstcích a v tvorbě biomasy jak podzemních, tak nadzemních orgánů. Růst rostlin pod různým stresem zasolení je blíže diskutován v textu.

Klíčová slova: halofytní druh, ježatka kuří noha, plevel, NaCl, stres

ÚVOD

Ježatka kuří noha (*Echinochloa crus-galli* (L.) P.B.) je celosvětově rozšířeným plevelem pocházející pravdě podobně z tropické Asie, kde doprovází hlavně rýži /1/. Rostlina je jednoletý plevel, který se v našich podmínkách vyskytuje především v okopaninách, kukuřici a zelenině. Také významně zapleveluje pozdně jarní výsevy kulturních travníků, přičemž úspěšně konkuruje vzcházejícím travním druhům. Sledovaný druh koncem léta zastavuje svůj růst a během podzimu z porostu vymizí. Vyskytuje se v nížinách až pahorkatinách, nejhojněji v teplejších oblastech /2/.

Ježatka kuří noha je úporný pozdně jarní plevel a k jeho inhibici je nutno dodržovat agrotechnické postupy /3/. Jeho likvidace v polních kulturách se neobejde bez použití herbicidů, avšak na některé herbicidy si ježatka již vytvořila odolnost /4/. Ježatka kuří noha patří pravděpodobně mezi druhy s výraznou schopností přizpůsobit se různým podmínkám stanoviště a snášet stres. Rostlina se rozmnožuje generativně. Produkce obilek z jednoho metru porostu je více jak 145 tisíc /5/, což také podporuje její šířitelnost a odolnost coby plevele. Obilky jsou rozšiřovány špatně čištěným osivem, zemědělskou technikou, kompostem.

Ježatka kuří noha patří mezi invazivní archeofyty naší současné flóry /6/. V posledních letech je častěji nacházena i v chladnějších oblastech státu a na nezemědělské půdě /7/. Při výzkumu vegetace rostoucí kolem silnic byl výskyt tohoto druhu opakovaně zaznamenáván, a to podél všech typů sledovaných komunikací /8, 9/. Příkopy a škarpy kolem silnic jsou vhodným habitatem pro rostliny, které jsou náročné na půdní živiny /10/. Pokud má tento druh

jednak vlastností úporného plevele a zároveň je méně citlivý na půdní salinitu, potom komunikace mohou sloužit jako vektor k jeho snadnějšímu šíření na další stanoviště.

Cílem této práce bylo zjistit stupeň tolerance ježatky kuří nohy vůči různému stupni zasolení půdního substrátu a potvrdit, že se jedná o druh tolerantní vůči NaCl v půdě.

MATERIÁL A METODY

Manipulativní pokusy s rostlinami ježatky kuří nohy probíhaly v kultivační místnosti s nastavitelným režimem. Design pokusu byl stejný jako u předchozích zavedených měření (viz rosička krvavá, /11, 12/). K pěstování byly použity plastové květináče o rozměrech 4x4x6 cm, do kterých byl umístěn filtrační papír a 60 ml půdní směsi složené z běžného zahradního substrátu a písku v poměru 2:1. Výsledná půdní směs byla proseta sítem o rozměru ok 3x3 mm. Pro každou variantu zasolení bylo uvedeným způsobem připraveno celkem 144 květináčů, které vyplnily jeden zavlažovací zásobník.

Semenáčky nepoškozených a zcela vitálních rostlin ježatky kuří nohy pocházely z bezprostředního okolí Českých Budějovic a byly jednotlivě zasazeny do připravených květináčů (věk rostlin cca 14 dnů). Poté co se semenáčky ujaly (10 dnů), došlo k zalití roztokem NaCl, a to v množství 20 ml/květináč (celkem 1 l roztoku na jeden zavlažovací zásobník). Hodnoty koncentrací roztoku NaCl a značení sad byly: K 0 %, A 0,12 %, B 0,25 %, C 0,50 %, D 0,99 % a E 1,96 %. Kontaminace solným roztokem byla provedena pouze jednou (1. den měření, viz Obr 1). Po dobu kultivace (cca jeden měsíc) byly rostliny zalévány přes zavlažovací zásobník stejným množstvím odstáté čisté vody.

Pro jednotlivá měření (destruktivní charakter) bylo vždy použito 12 rostlin. Byly sledovány tyto charakteristiky: délka a hmotnost nadzemních a podzemních částí rostliny. Zjištěná data byla statisticky vyhodnocena jednofaktorovou analýzou variace (ANOVA). Nomenklatura je sjednocena dle botanického klíče /13/.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Časový průběh

Křivky průměrných hodnot znázorňující hmotnost biomasy během kultivace pod stresem zasolení mají zdánlivě neuspořádaný charakter (Obr. 1a-1c). Při důkladnější analýze lze vysledovat několik zákonitostí, kterými lze popsat reakci biomasy v čase. Křivky znázorňující procentuální hodnotu sušiny kořenů u ošetřených sad mají obdobný průběh jako křivky popisující sušinu nadzemních částí. Tedy např. křivky sušiny kořenů a nadzemních částí u rostlin rostoucích v substrátu s 0,50 % NaCl (sada C) jsou si podobné (Obr. 1a, 1b). Vztah celkové reakce rostliny (z hlediska biomasy) vzhledem ke kontrolnímu vzorku je dobře vidět na Obr. 1c.

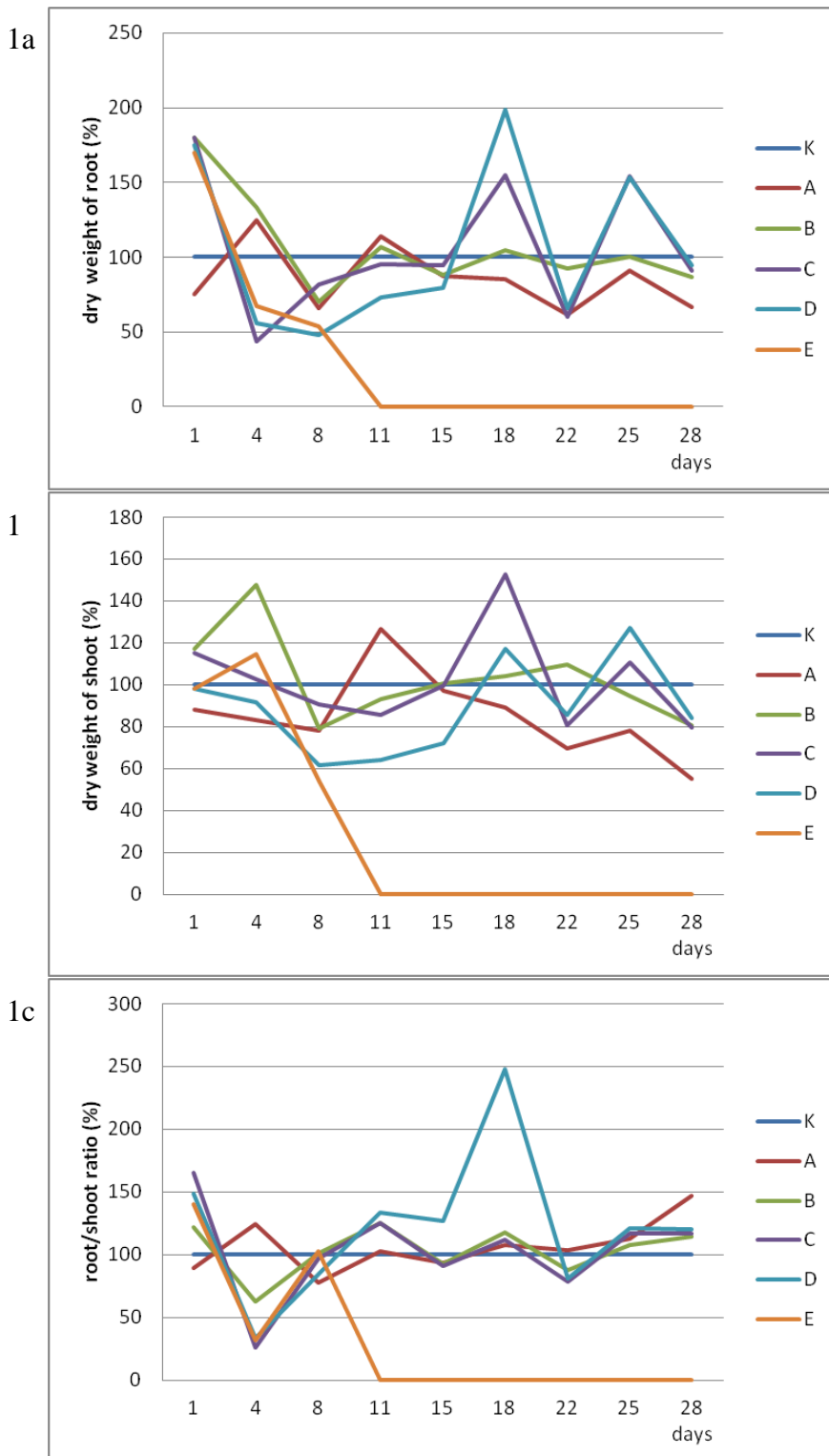
Z pozorovaných reakcí rostlin na různou koncentraci zasolení (vzorky A-E) v čase lze popsat a stanovit těchto pět „zákonitostí“:

- I. A: vyrovnané množství biomasy, tendence investovat více do kořenů
- II. B, C, D, E: krátkodobé zvýhodnění nadzemní biomasy na začátku pokusu
- III. B, C: snaha o vyrovnané množství biomasy (křivka R/S poměru osciluje kolem kontroly)
- IV. D: „rozkolísaná reakce“, výrazné ztráty biomasy u nadzemních i podzemních částí rostlin, zjevně inhibující koncentrace soli (0,99 % NaCl)
- V. E: velmi inhibující reakce, destruktivní následky lze pozorovat od prvních dnů po aplikaci NaCl

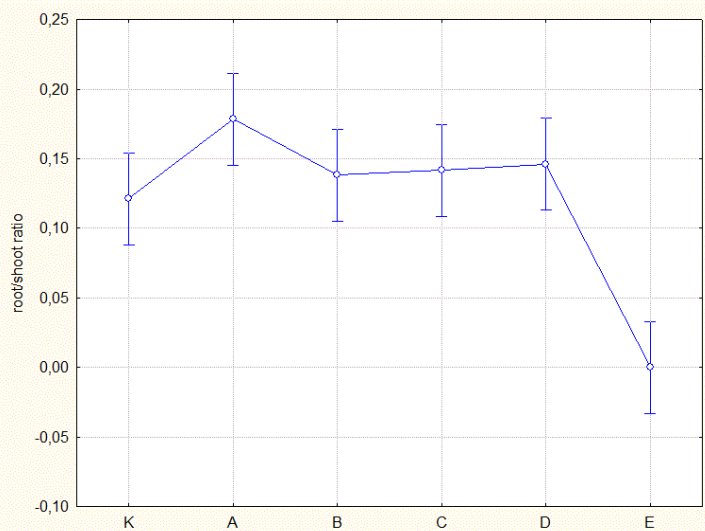
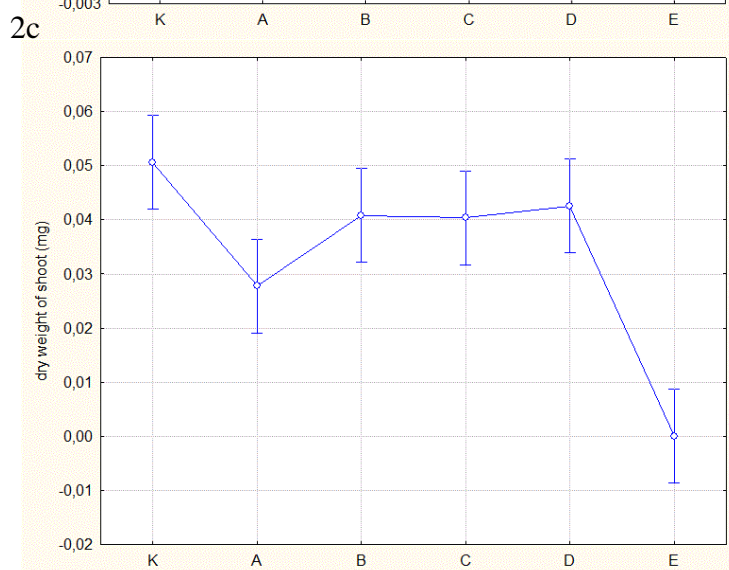
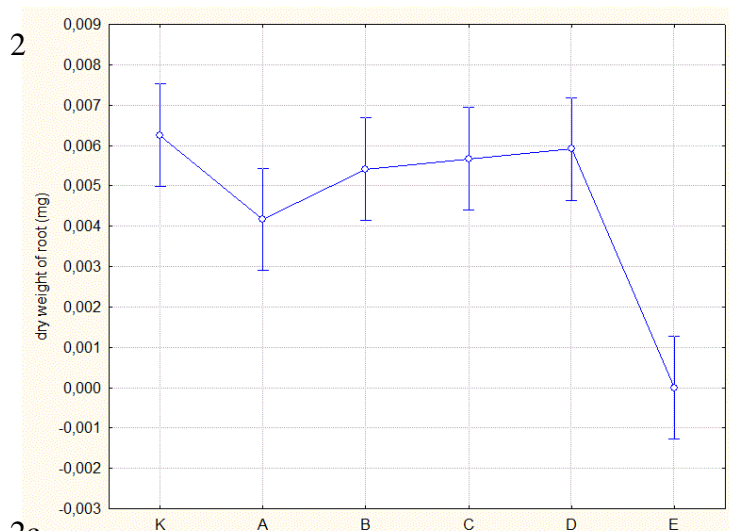
První reakcí na kontaminaci byla ztráta části kořenového aparátu (pozorováno u všech zasolených substrátů), která byla u rostlin s nižší mírou zasolení (sady A-C, tj. 0,12-0,50 % NaCl v substrátu) postupně úspěšně nahrazena.

Měření na konci kultivace

Kultivace rostlin byla ukončena v době, kdy začalo být zjevné, že rostliny ze sady D jsou inhibovány natolik, že začínají odumírat. Porovnání hmotností nadzemních a podzemních částí, včetně R/S poměru je znázorněno na Obr. 2a-2c. U všech sad rostlin (mimo E) bylo zaznamenáno snížení hmotnosti sušiny u kořenů i nadzemních částí v porovnání s kontrolou (Obr 2a, 2b). Přes toto snížení hmotnosti biomasy je zjevné, že rostliny „nešetřily“ na investování do kořenů, nebo do jejich zachování (Obr. 2c). Investice do kořenového systému je jednou z reakcí rostlin na mírný stres /14/.



Obr. 1: Procentuální vyjádření hmotností sušiny podzemních částí (a), nadzemních částí (b) a poměr sušiny root/shoot (c) u rostliny ježatka kuří noha ve významných dnech experimentu rostoucí v různě zasolených substrátech (koncentrace NaCl: K – 0,00 %, A – 0,12 %, B – 0,25 %, C – 0,50 %, D – 0,99 %, E – 1,96 %)



Obr. 2: Průměrné hmotnosti sušiny podzemních částí (a), nadzemních částí (b) a poměr sušiny root/shoot (c) u rostliny ježatka kuří noha poslední den pokusu (28. den) rostoucí v různě zasolených substrátech (koncentrace NaCl: K – 0,00 %, A – 0,12 %, B – 0,25 %, C – 0,50 %, D – 0,99 %, E – 1,96 %)

ZÁVĚR

Výsledky experimentu ukazují, koncentrace 0,99 % a 1,97 % NaCl v substrátu vedly k výrazné inhibici růstu nebo k rychlému odumření ježatky kuří nohy. Přesto lze konstatovat, že tento druh je do určité míry tolerantní vůči chloridu sodnému obsaženému v půdním substrátu. Bylo totiž zjištěno, že zasolení půdy o koncentracích 0,12 % a 0,25 % NaCl v zásadě neomezilo růst a vývoj tohoto druhu.

U pozorovaných rostlin byla první reakce na kontaminaci ztráta části kořenového aparátu (pozorováno u všech zasolených substrátů), která byla u rostlin s nižší mírou zasolení (0,12-0,50 % NaCl) úspěšně nahrazena. U rostlin rostoucích v kontaminované půdě měly rostliny menší hmotnost nadzemních i podzemních orgánů a zároveň měly vyšší hodnoty R/S poměru. Rostliny se snažily kontaminaci půdy saturovat investicí do kořenového systému.

Tyto výsledky potvrzují, že ježatka kuří noha je tolerantní vůči chloridu sodnému v půdě. Ke svému růstu nevyžaduje zasolenou půdu, přesto v ní dokáže úspěšně růst. Okolí silnic tak může být habitatem, který usnadňuje šíření tohoto druhu v krajině.

Literatura

- /1/ Hrouda, L.: Trávy a jejich příbuzní napříč biotopy IV. Trávy střední Evropy: všudypřítomné i nejnáznámější. Živa, 2010, 158-161.
- /2/ <http://www.agrostis.cz/kapesni-atlas-trav/jezatka-kuri-noha-echinochloa-cruss-galli-lpb>, 5.4.2014 .
- /3/ Mikulka, J., Kneifelová, M., Martinková, Z., Soukup, J., Uhlík, J.: Plevelné rostliny. Profi Press, Praha, 2005.
- /4/ Hamouzová, K., Salava, J., Soukup, J., Chodová, D. Košnarová, P.: Weed resistance to herbicides in the Czech Republic: History, occurrence, detection and management. In: Herbicides. Mechanisms and mode of action. Open Access Publisher, Rijeka, Croatia, 2011, 83-102.
- /5/ Šerá, B., Šerý, M.: Relation between number and weight of seeds and reproductive strategies in herbaceous plants. Folia Geobotanica, 2004, 39: 27–40.
- /6/ Pyšek, P., Danihelka, J., Sádlo, J., Chrtěk, J. Jr., Chytrý, M., Jarošík, V., Kaplan, Z., Krahulec, F., Moravcová, L., Pergl, J., Štajerová, K., Tichý, L.: Catalogue of alien plants of the Czech Republic (2nd edition): checklist update, taxonomic diversity and invasion patterns. Preslia, 2012, 84: 155–255.
- /7/ Slavíková-Holcová, L., Mikulka, J.: Rezistentní plevele v České republice ježatka kuří noha – *Echinochloa crus-galli*. Agromanuál, 2009, 4(9–10): 22.
- /8/ Šerá, B.: Roadsides function as halophyte habitats in the landscape. In: Adamec, Jandová (eds), Transport, health and environment, IV Czech-Slovak Scientific Conference, Blansko, November 2-3, 2010, Transport Research Centre, Brno, 2010, 149-154.
- /9/ Šerá, B.: Stress tolerant plant species spread in the road-net. Ecological Question, 2011, 14: 45-46.
- /10/ Akbar, K.F., Hale, W.H.G., Šerá, B., Ashraf, I.: Phytometric assessment of fertility of roadside soils and its relationship with major nutrients. Pol. J. Environ. Stud., 2012, 21(5): 1141-1145.

- /11/ Nováková, M., Gajdová, I., Šerá, B.: Nárůst biomasy u rosičky krvavé (*Digitaria sanguinalis* (L.) SCOP.) v solí kontaminované půdě – skleníkový experiment. In: Hnilička F. (ed), Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2011, ČZU, Praha, 2012, 227-230.
- /12/ Šerá, B., Hrušková, I., Nováková, M.: Response of the *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop to the soil salinity - a greenhouse experiment. Ecological Question, 2011, 14: 39-40.
- /13/ Kubát, K., Hrouda, L., Chrtěk, J. jun., Kaplan, Z., Kirschner, J., Štěpánek, J. (eds.) Klíč ke květeně České republiky. Academia, Praha, 2002.
- /14/ Mohr, H., Schopfer, P.: Plant Physiology. Springer-Verlag, Berlin-New York, 1995.

Poděkování

Tato práce je jedním z výsledků mezinárodní spolupráce COST Akce FA0901 a byla finančně podpořena grantem MŠMT č. OC 10032.

Running page headline: Roadside as a habitat for weed species

Roadside habitats: the impact of salinization on the occurrence, growth and reproduction of two weed species *Echinochloa crus-galli* and *Digitaria sanguinalis*

Markéta NOVÁKOVÁ*, Božena ŠERÁ, Pavel CUDLÍN

University of South Bohemia in České Budějovice, Faculty of Agriculture, Studentská 1668, 370 05 České Budějovice, Czech Republic

*e-mail: matula@voxcafe.cz (*corresponding author*)

ABSTRACT: The specific conditions in habitats in the immediate vicinity of roads provide a suitable environment for noxious weeds and invasive species that spread through them to the landscape. *Echinochloa crus-galli* and *Digitaria sanguinalis* are problematic weeds of wide-row crops. The field experiment focused on the impact of the roadside habitat salinization on the occurrence, growth and reproduction of these two species. The aim was also to gain and assess information if the roadside habitats facilitate spreading of these species to the surrounding landscape. Quantitative vegetative and generative characteristics of plants were determined. Measurements were carried out at three distances from the edge of the road and on control plots. The results showed that the growth and reproduction of both species occur in the period when the values of soil environmental variables correspond to values of non-saline soil according to the criteria for soil salinity assessment. Despite this fact the average salinity of soil along roadsides is still higher than in soils of further distances. These levels of salinity are well tolerated by both species. According to previous laboratory tests both species tolerate higher salinity values. Therefore, roadsides with the same or higher salt content represent a suitable location for the occurrence and reproduction of both species, and thus being temporary locations that enable further spreading to the countryside.

KEYWORDS: saline soil, road vegetation, species distribution, weed plants, roadsides

INTRODUCTION

Roads and highways are an integral part of the contemporary cultural landscape. These artificial constructions significantly affect the landscape by their development and management (Bennett 1991, Carr *et al.* 2002, Forman 2003). Winter maintenance using chemical de-icing material, mostly sodium chloride, represents an integral part of road management (Norrström and Bergstedt 2001, Spellerberg 2002). This method is regarded as an effective way to make road passable and safe. On the other hand, it leads to various degrees of salinization of surrounding soil, groundwater and surface water (Norrström and Bergstedt 2001, Wegner and Yaggi 2001, Spellerberg 2002, Šerá 2008). A number of authors, such as Suchara 1993, Howard and Beck 1993, Satterfield 1997, Fischel 2001, Norrström and Bergstedt 2001, Bredy and Weil 2002, Munns and Tester 2008 write about the impact of salinity and mainly effects of sodium and chloride ions on soil, surface and groundwater.

Despite this, soil along roads is naturally populated or planted with a number of plant species (Spellerberg 2002, Forman 2003). These habitats provide a suitable environment for the species with a wide ecological valence and tolerance to disturbances (Forman and Alexander 1998, Šerá 2008). Many studies refer to a great species diversity along roadsides (Forman 2003, Jantunen 2006). Roads and their vegetation are sometimes considered to be an independent ecosystem (Dove 1997) and also the line corridors of the spreading of non-native and invasive species in the landscape (Parandes and Jones 2000, Harrison *et al.* 2002, Pauchard and Alaback 2004). Most of them are noxious weed species (Frenkel 1978, Šerá 2010, 2011, Ansong and Pickering 2013). Repeatedly, the occurrence of *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. and *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. is also stated (Maun and Barrett 1986, Zwaenepoel 2006, Šerá 2008).

Echinochloa crus-galli and *Digitaria sanguinalis* are monocarpic weeds with wads of roots (Maun and Barrett 1986). Their reproduction is only generative (Mlíkovský and Stýblo 2006). A couple of thousand kernels matures on spikes (Mlíkovský and Stýblo 2006, Jursík *et al.* 2011). Both species are thermophilic but currently they can be found in even colder areas at higher altitudes (Kneifová and Mikulka 2003). They are considered to be troublesome weeds of wide-row crops. They often occur in towns along pavements and walls, in fallows and rubble and along paths (Maun and Barrett 1986, Kubát 1998, Jehlík 1998). *E. crus-galli* is regarded as the third (after *Cirsium arvense*, *Chenopodium album*) most noxious weeds of the world (Mikulka 1999). It belongs to the invasive alien species of Czech flora (Pyšek and Sádlo 2002). *D. sanguinalis* is not stated on the Ellenberg's list (Ellenberg *et al.* 1992) of halophytic plant

species. Nor it is mentioned in the Grigore's study (2012), that summarises halophyte identification and classification, in the context of soil salinity. *E. crus-galli* belongs to the species that grow well in a variety of environments, and may rarely or exceptionally grow in saline soils (Grigore 2012).

The main aim of this study was to determine whether the soil salinity in the vicinity of roads affects the occurrence, growth and reproduction of *D. sanguinalis* and *E. crus-galli*. The important part of this research focused on gaining insight of the gradient and seasonal dynamics of soil salinity in the locations where both species grow. In relation to the main objective of the experiment, the following question was also raised: Do the roadside habitats facilitate spreading of these species to the surrounding agricultural landscape?

STUDY AREA

The field experiment was conducted on road verges strip (road shoulders) along the road no.164 located in the southern area of the Czech Republic, between Jindřichův Hradec (a smaller town situated on Lat. 49°8'8"N, Long. 15°12'33"E) and Strmilov (a village situated on Lat. 49°9'43"N, Long. 15°12'33"E). This road is a B road with a regular salt for more than 10 years and daily traffic intensity ranging from 3,001 to 5,000 vehicles per 24 h (acc. to <http://rsd.cz>). The road passes through the landscape featuring a long, warm, and dry to slightly dry summer, slightly warm spring and autumn. Winters are short, mild, and dry with a short duration of the snow cover. The elevation of the area is between 475 and 525 m a.s.l. The geological substrates consist of granites and granodiorites (acc. to <http://czso.cz>) and the soil type is represented by cambisol (acc. to <http://mzp.cz>). The surrounding landscape is characteristic by mosaic of fields, meadows and coniferous forests (acc. to <http://geoportal.kraj-jihocesky.gov.cz>).

MATERIALS AND METHODS

Soil pH and salinity measurements

Six locations to obtain particular values of salinity gradient and salinity dynamics during the year in the immediate surroundings of roadways were selected. Three locations reflected plain and the other three causeway. The locations corresponded to the occurrence of both studied weed species. Sampling was done at 25, 75 and 125 cm from the outer edge of the road. Eighteen soil samples were collected using the sampler corer with a diameter of 4.5 cm to a depth of 10 cm. Soil samples were dried in air at room temperature of 21°C. Then the soil was sifted through a sieve with a mesh size of 3 mm and formed to fine soil for laboratory analysis. The following soil variables were determined for each sample: active and exchangeable soil reaction and the sodium and chloride ion content. Soil reactions were determined in a potentiometric manner. The sodium ion concentration was determined in the extract of 36% of HCl. The samples were then analysed by flame photometry. The chloride ion concentration in the samples was determined by the Mohr method in the extract with the double-distilled water. The soil electrical conductivity was measured by the WET-2 SENSOR device directly in the field together with the soil sampling. Sampling was carried out in the same way on the following dates: after snow thawing and road salt at the end of winter maintenance (28/02/2014), in June (02/06/2014) and before the first road salt (02/10/2014).

Determination of the plant vegetative and generative characteristics

Six research plots (three pads for each species separately) were established in the seven-kilometre section of the road. The natural occurrence of numerous populations of both weed species was used. For *D. sanguinalis*, each plot was divided into three squares with a size of 50 cm. Squares were oriented so that they detect the occurrence of *D. sanguinalis* and allow measuring of required characteristics at the three distances from the asphalt road surface. The research plots for *E. crus-galli* were divided into two squares. In this way the occurrence of the species was reflected in a shorter distance from the road. The control plots were based in the location beyond the road surroundings. The following characteristics were determined for both species: length of shoot and root, shoot and root dry weight, as well as length and dry weight of inflorescences, number of inflorescences per plot, number of seeds in the inflorescence, reproductive ability and coverage. The measurements were made four times during the vegetation season for both species (always within 20 calendar days).

Statistical analysis

Due to the high variability and heteroscedasticity of the data or insufficient number of samples in some groups the Kruskal-Wallis non-parametric test was used to analyse soil salinity data as well as to analyse the data of quantitative growth indicators and characteristics of inflorescences of both weed species. To compare the mean values of the observed parameters in the individual groups by distance, the Tukey's multiple comparison test was performed, comparing all combinations of pairs of observed groups. All statistical tests were performed at a significance level of 0.05 in the R statistical system.

RESULTS AND DISCUSSION

Soil salinity of roadside habitats

A decrease in the values of basic salinity parameters of soil with the distance from the edge of road is generally assumed (Forman 2003). Seasonal dynamics of soil salinity is also characteristic for these habitats. The values of the salinity variables measured in our study confirmed these trends. The average values of electrical conductivity was found to decrease sharply with the distance from the edge of roadway and also gradually over time from the latest road salt (Table 1). The same trend was recorded in the conductivity in the previous autumn (year 2013) and the subsequent spring season (year 2015) (unpubl. data). The comparison of the soil salinity parameters of the roadside habitats with the criteria for the soil salinity evaluation (Gardner *et al.* 1999) allowed us to classify the soil at a distance of 0–50 cm as slightly saline but only in the short period after the end of the winter road salt. Table 1 also shows a visible decrease in the content of Na⁺ ions and annual dynamics of the active soil reaction during the year. The statistically significant difference between the Na⁺ ions and the active pH_{H₂O} values was demonstrated between the distance of 25 cm and 125 cm from the edge of the road only in the spring and, in the case of the active pH_{H₂O}, also in the summer season. The measured values were compared according to the evaluation criteria of active pH_{H₂O} (Vopravil *et al.* 2009). The highest values of active pH_{H₂O} were measured in the soil in February at the distance of 25 cm and 75 cm from the road, where soil had a slightly alkaline reaction. At the distance of 125 cm from the roadway, the soil reaction was slightly acidic. During the summer season until October roadside soil reaction values ranged from slightly acidic to acidic.

Growth and reproduction of *D. sanguinalis* and *E. crus-galli* at the roadside habitats

Despite the fact that during the vegetation period of the both weed species the soil in the study area was not classify as saline one, the influence of the negative factors connected with the

close proximity to the road was evident. The effect was manifested by a considerably lower root and shoot biomass of *D. sanguinalis* as well as *E. crus-galli* growing on roadsides in comparison to the test specimens (Tables 2 and 3). These differences were more pronounced in the case of roots – their length and dry mass were significantly smaller in the roadside specimens of the both species compared to control plants. According to our results the differences in the length and dry weight of shoots between roadside specimens and control plants in the case of *E. crus-galli* seemed to appear to less distant from the road (only within 0–50 cm) than in the case of *D. sanguinalis* (distance of 0–100 cm). At a greater distance from the road, the differences in the length shoot of the specimens of both weeds were not statistically significant compared to the control plants (Tables 2 and 3)

The results showed that *D. sanguinalis* specimens at different distances from the road did not statistically significantly differ in the length of the root part nor in the value of the weight of dry matter of the roots. Statistically the overhead part at the distance of 0–50 cm demonstrated a significant difference in length and weight of dry matter compared to the specimens at the distance of 100–150 cm. This fact was also confirmed by root:shoot ratio. The negative influence of the habitat factors at that distance of 0–50 cm evidently caused specimens of *D. sanguinalis* to invest more energy into the root part (Table 2). The *E. crus-galli* specimens by the road were compared in the same way (Table 3). The results showed that there was a statistically significant difference in the biomass of both plant parts between the specimens growing at the distance of up to 50 cm from the road and the specimens growing at the distance further than 50 cm.

By the 63rd day of the experiment, specimens from the control plots created more generative organs than specimens of the research plots alongside the road. This fact indicates the later onset of the generative organ formation period in the specimens from roadside populations. The specimens from roadside populations differed from the control specimens in biomass production and also differed in the length and weight of inflorescences (Tables 4 and 5). The inflorescences of both species growing in the vicinity of the road were smaller and reached lower weights compared to the inflorescences of the specimens in the control samples. The difference in length and weight of the inflorescences was statistically significant ($P < 0.05$). We also compared the length and weight of the inflorescences of the specimens at the different distances from the road. The inflorescences of *E. crus-galli* at the distance of 0–50 cm were demonstrably smaller than the inflorescences of *E. crus-galli* specimens at the distance of 50–100 cm. The differences in the weight of the inflorescences between these distances were however statistically insignificant (Table 5). The length of inflorescences of *D. sanguinalis*

specimens from the distance of 0–50 cm differed considerably in comparison to the other distances. In terms of weight, major difference occurred only between the specimens located at the distances of 0–50 cm and 100–150 cm (Table 4). The estimated coverage of both species on the roadside areas ranged from 5 to 25%. As for the control areas, the coverage was estimated to range between 50 and 70%. Despite the several times lower coverage of both species in all the areas along the road (in the case of *E. crus-galli* only the distance of 0–50 cm), a higher average number of inflorescences was found compared to the control areas was evaluated (Tables 4 and 5). Inflorescences of the control specimens usually contained a higher number of seeds than the inflorescences of the specimens of both species from the roadside habitats. *E. crus-galli* showed the same result only at the distance of 50–100 cm.

D. sanguinalis specimens average total reproduction ability at the road areas (being the result of a larger number of generative organs) was found to be higher than that of the control areas (Table 4). The opposite trend was noted for *E. crus-galli* (Table 5). The average total reproduction ability of the this species from the roadside areas is lower than from the control plots. At the distance of 0–50, *E. crus-galli* specimens created a larger number of inflorescences, however, they contain less seeds. However at the distance of 50–100 cm the specimens created a lower number of inflorescences with a quantity of seeds comparable to the control plots.

The habitats along the roadways can vary considerably in terms of soil properties. Soil salinization along roads is recognised as the most significant stress factor in these habitats (Johnson 2000). Based on the results of the experiment, it can be assumed that soil salinity along roads in our case is not the main reason for the lower increase of root and shoot biomass and significant differences in the generative characteristics of the plants. The state of biomass and the overall condition of the specimens of both weeds roadside populations are likely to be affected by the whole set of stress factors (toxic traffic substances, drought, shallow soil, lack of shading, etc.) that are characteristic for this type of environment. The low but still existing salt concentration in the soil during the vegetation period of both species could not considered to be a major factor, but still one of a number of factors influencing plant growth.

In conclusion we can say that considering the annual dynamics of salinization along the road and in its close vicinity, the conditions of this habitat has a beneficial effect on the occurrence of *E. crus-galli* and *D. sanguinalis* weed species. Both species tolerate the values of salinity, soil reactions, sodium and chloride ion concentrations that occur in the soil when weeds germinate, mature and form generative organs. The values of quantitative growth indicators and characteristics of inflorescences of the the two species showed the properties of S-R strategists

(stres-tolerant –ruderal). The nature and maintenance of B category roads and the mild winter season in 2014 (a small amount of snowfall, higher average temperatures) were certainly reflected in the results. However, previous laboratory experiments revealed that both species tolerate higher salinity values (Šerá *et al.* 2011, Nováková *et al.* 2012, 2013). Therefore, winters with more snowfall and lower temperatures should not significantly affect the occurrence, growth and reproduction of specimens of both species along roadside areas. Based on the results of the experiment, it is believed that roads with equal or higher soil salinity dynamics during the year could be suitable habitats for the occurrence, growth and reproduction of the two weed species. These locations could serve as temporary habitats for their spreading into the surrounding agricultural landscape.

REFERENCES

- Ansong M., Pickering C., Janke A. 2013 – Are weeds hitchhiking a ride on your car? A systematic review of seed dispersal on cars – Plos one, 8, 11, e80275.
- Benett A.F. 1991 – Roads, roadsides and wildlife conservation: a review (In: Nature conservation 2: The role of corridors Eds: D.A. Saunders, R.J. Hobbs) – Surrey Beatty and Sons, Chipping Norton, New South Wales, Australia, pp. 99–118.
- Brady N.C., Weil R.R. 2002 – The nature and properties of soils 13th ed. – Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall.
- Carr L.W., Fahrig L. Pope S.E. 2002 – Impacts of landscape transformation by roads – Applying landscape ecology in biological conservation – Springer, New York.
- Dove J. 1997 – Investigating roadside verges – J. Biol. Educ. 31: 213–217.
- Ellenberg H., Webeber H. E., Dull R., Wirth V. *et al.* 1992 – Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 18: 1–258.
- Fischel M. 2001 – Evaluation of selected de-icers based on a review of the literature – Colorado Department of transportation, research branch. CDOT-DTD-R-2001-15, final report
- Forman R.T. 2003 – Road ecology: science and solutions – Washington, DC: Island Press.
- Forman R.T.T., Alexander L.E. 1998 – Roads and their major ecological effects – Annu. Rev. Ecol. Syst. 29: 207–231.
- Frenkel R.E. 1978 – Ruderal vegetation along some California roadsides (California library reprint series) – Berkeley, University of California Press.
- Gardner, C.M.K., Laryea K. B., Unger P. W. 1999 – Soil physical constraints to plant growth and crop production (In: Land and Water Development Division) – FAO Publication, Rome.

- Grigore M. 2012 – Romanian salt tolerant plants – Taxonomy and ecology – Tehnopress, Iasi, Romania.
- Harrison S., Hohn C., Ratay S. 2002 – Distribution of exotic plants along roads in a peninsular nature reserve – *Biol. Invasions*, 4: 425–430.
- Howard K.W.F., Beck P.J. 1993 – Hydrogeochemical implications of groundwater contamination by road de-icing chemicals – *J. Contam. Hydrol.* 12: 245–268.
- Jantunen J., Saarinen K., Valtonen A., Saarnio S. 2006 – Grassland vegetation along roads differing in size and traffic density – *Ann. Bot. Fenn.* 43: 107–117.
- Jehlík V. 1998 – [Alien expansive weeds of the Czech Republic and the Slovak Republic] – Vyd. 1. Praha, Academia (in Czech).
- Johnson A. 2000 – Establishment, protection, and reestablishment of urban roadside vegetation against salt and ice – Final Report 2000–33, Minnesota Local Road Research Board.
- Jursík M., Holec J., Hamous P., Soukup J. 2011 – [Weed biology and regulation] – Česká zemědělská univerzita v Praze (in Czech).
- Kneifová M., Mikulka J. 2003 – [Significant and newly spreading weeds] Praha: ÚZPI, (in Czech).
- Kubát V. 1998 – Key of the flora of the Czech Republic: Alien expansive weeds of the Czech Republic and the Slovak Republic – Vyd. 1. Praha, Academia.
- Maun M.A., Barrett S.C.H. 1986 – The biology of Canadian weeds: 77. *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. – *Can. J. Plant Sci.* 66: 739–759.
- Mikulka J., Bělohávková R. 1999 – [Alien expansive weeds of the Czech Republic and the Slovak Republic] – Vyd. 1. Praha, Farmář-Zemědělské Listy (in Czech).
- Mlíkovský J., Stýblo P. 2006 – [Non-native species of fauna and flora of the Czech Republic] – Praha, ČSOP, (in Czech).
- Munns R., Tester M. 2008 – Mechanism of salinity tolerance – *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651–81.
- Norrström A.C., Bergstedt E. 2001 – *Water, Air, Soil Pollut.* 127: 281–299.
- Nováková M., Gajdová I., Šerá B. 2012 – The growth of large crabgrass (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.) biomass in salt contaminated soil – a greenhouse experiment (In: Influence of Abiotic and Biotic Stresses on Properties of Plants) – Czech University of Life Sciences Prague, pp. 227–230.
- Parendes L.A., Jones J.A. 2000 – Role of light availability and dispersal in exotic plant invasion along roads and streams in the H.J. Andrews experimental forest, Oregon – *Conserv. Biol.* 14: 64–75.

- Pauchard A., Alaback P. B. 2004 – Influence of elevation, land use, and landscape context on patterns of alien plant invasions along roadsides in protected areas of south-central Chile – *Conserv. Biol.* 18: 238–248.
- Pyšek P., Sádlo J., Mandák B. 2002 – Catalogue of alien plants of the Czech Republic – *Preslia*, 74: 97–186.
- Satterfield C. 1997 – Magnesium chloride environmental consequences, draft – Great Salt Lake minerals and riley windover.
- Šerá B. 2008 – Road vegetation in Central Europe — an example from the Czech Republic – *Biologia*, 63: 1085–1088.
- Šerá B. 2010 – Road-side herbaceous vegetation: life history and habitat preferences – *Pol. J. Ecol.* 58: 69–79.
- Šerá B. 2011 – Stress tolerant plant species spread in the road-net – *Ecol. Questions*, 58: 45–46.
- Spellerberg I.F. 2002 – Ecological effects of roads: science and solutions – Enfield, NH: Science, Publishers, VIII, 251 pp..
- Suchara I. 1993 – The use of some urban park woody species in an estimation of air pollution level: Tree bark extract characteristics – *Zahradnictví*, 20: 241 – 260.
- Vopravil J., Novotný I., Khel T., Hladík J. *et al.* 2010 – [Soil and its assessment in the Czech Republic] – Vyd. 2. Praha, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (in Czech).
- Wegner W., Yaggi M. 2001 – Environmental impacts of road salt and alternatives in the New York City Watershed – *The Journal for Surface Water Quality Professionals Storm-water*: 1–14.
- Zwaenepoel A., Roovers P., Hermy M. 2006 – Motor vehicles as vectors of plant species from road verges in a suburban environment – *Basic Appl. Ecol.* 7: 83–93.

Table 1. Electric conductivity (EC), Na⁺, Cl⁻ content and pH of soils at different distances from the outer edge of the road in spring, summer and autumn of 2014. Mean and SD values are presented. Different small letters indicate significant difference between the groups (Tukey's HSD test). n = 54.

Distance from the road (cm)	Ec (mS/cm)			Na ⁺ content (mg/kg)			Cl ⁻ content (mg/kg)			pH _{H₂O}			
	Mean	SD	HSD	Mean	SD	HSD	Mean	SD	HSD	Mean	SD	HSD	
<u>In spring</u>													
0–50	5.57	3.90	b	25	2833.33	1329.2	b	1477.00	2227.60	a	7.38	0.34	b
50–100	3.35	1.14	a	75	1666.67	408.25	ab	1383.30	1207.18	a	7.09	0.34	ab
100–150	2.18	1.39	a	125	1500.00	547.72	ab	844.00	690.39	a	6.74	0.44	a
<u>In summer</u>													
0–50	1.61	0.92	b	25	1500.00	316.23	a	288.60	265.83	a	6.58	0.82	b
50–100	1.34	0.78	ab	75	1250.00	418.33	a	287.80	207.10	a	6.14	0.37	ab
100–150	0.91	0.62	a	125	1166.70	258.20	a	187.70	108.93	a	5.62	0.42	a
<u>In autumn</u>													
0–50	0.69	0.20	b	25	412.53	294.21	a	40.23	21.80	a	6.24	0.70	a
50–100	0.59	0.15	ab	75	335.57	153.30	a	40.40	18.56	a	5.94	0.54	a
100–150	0.56	0.20	a	125	338.00	242.84	a	48.10	37.78	a	5.46	0.45	a

Table 2. Growth characteristics of *Digitaria sanguinalis* occurring in salt contaminated roadside habitats and non-salty plots. Mean and SD values are presented. Different small letters indicate significant difference between the groups (Tukey's HSD test). n = 120

Distance from the road (cm)	Root length (mm)			Shoot length (mm)			Root dry weight (mg)			Shoot dry weight (mg)		
	Mean	SD	HSD	Mean	SD	HSD	Mean	SD	HSD	Mean	SD	HSD
0–50	24.34	23.58	a	44.90	56.92	a	0.01	0.04	a	0.04	0.20	a
50–100	26.28	15.10	a	53.38	48.36	ab	0.00	0.01	a	0.02	0.03	a
100–150	31.08	20.20	a	73.34	77.14	bc	0.01	0.05	a	0.04	0.16	a
Non-salty plots	47.43	34.34	b	95.00	86.52	c	0.05	0.15	b	0.13	0.26	b

Table 3. Growth characteristics of *Echinochloa crus-galli* occurring in salt contaminated roadside habitats and non-salty plots. Mean and SD values are presented. Different small letters indicate significant difference between the groups (Tukey's HSD test). n = 90

Distance from the road (cm)	Root length (mm)			Shoot length (mm)			Root dry weight (mg)			Shoot dry weight (mg)		
	Mean	SD	HSD	Mean	SD	HSD	Mean	SD	HSD	Mean	SD	HSD
0–50	31.78	15.88	a	79.69	76.80	a	0.15	0.02	a	0.04	0.01	a
50–100	42.55	28.90	b	176.5	213.69	b	0.04	0.09	a	0.23	0.64	a
Non-salty plots	53.96	27.33	c	175.1	148.59	b	0.15	0.33	b	0.76	2.15	b

Table 4. Generative characteristics of *Digitaria sanguinalis* growing in salt contaminated roadside habitats and non-salty plots. Mean and SD values are presented. Different small letters indicate significant difference between the groups (Tukey's HSD test). n = 120.

Distance from the road (cm)	Inflorescences											
	Length (mm)			Dry weight (mg)			Seeds (pc)			Per plot (pc)		
	Mean	SD	HSD	Mean	SD	HSD	Mean	SD	HSD	Mean	SD	HSD
0–50	47.76	16.74	a	0.03	0.02	a	59.87	19.02	a	224.70	123.78	a
50–100	54.00	23.35	b	0.03	0.02	ab	121.90	65.85	b	233.62	65.13	a
100–150	55.56	22.52	b	0.03	0.03	b	111.30	46.52	b	307.33	117.50	a
Non-salty plots	61.71	21.77	c	0.04	0.03	c	214.80	104.60	c	180.67	72.42	a

Table 5. Generative characteristics of *Echinochloa crus-galli* growing in salt contaminated roadside habitats and non salty plots. Mean and SD values are presented. Different small letters indicate significant difference between the groups (Tukey's HSD test). n = 90.

Distance from the road (cm)	Inflorescences											
	Length (mm)			Dry weight (mg)			Seeds (pc)			Per plot (pc)		
	Mean	SD	HSD	Mean	SD	HSD	Mean	SD	HSD	Mean	SD	HSD
0-50	49.17	24.09	a	0.05	0.06	a	325.8	259.80	a	145.33	64.39	a
50-100	68.31	27.88	b	0.07	0.05	a	704.7	381.80	b	33.67	19.60	a
Non-salty plots	92.07	39.27	c	0.22	0.29	b	624.3	506.00	b	82.70	9.50	a