

Beiskjuefni í alaskalúpínu, *Lupinus nootkatensis*

JÓHANN ÞÓRSSON

og

KRISTÍN HLÍÐBERG

Rannsóknastofnun landbúnaðarins, Keldnaholti, 112 Reykjavík

YFIRLIT

Síðan alaskalúpína (*Lupinus nootkatensis*) var flutt til landsins hefur hún nær eingöngu verið notuð til landgræðslu. Áhugi hefur verið á að nota hana í landbúnaði, sem fóður eða til beitar, en þar hefur steytt á háu beiskjuefnainnihaldi. Þær tilraunir sem hafa verið gerðar benda til að slíkt sé ekki mögulegt án þess að kynbætt yrki komi fram eða lúpínan verði unnin og beiskjuefnum náð úr henni þannig. Tilraunir sem gerðar hafa verið benda til að heildarbeiskjuefnainnihald í íslensku alaskalúpíunni sé á bilinu 1–2% af þurrefni og að í henni geti verið allt að 16 mismunandi beiskjuefni, mest af sparteini. Heildarmagn er breytilegt en fylgir birtu og er því mest um og eftir sumarsólstöður.

Gerð er lítillega grein fyrir kínlín beiskjuefnum, myndun þeirra, byggingu, áhrifum á lífverur og mælingum. Einnig eru birtar niðurstöður beiskjuefnamælinga á íslenskum alaskalúpínum.

SUMMARY

Alkaloids in Nootka lupine, Lupinus nootkatensis

Since the Nootka lupine (*Lupinus nootkatensis*) was first introduced to Iceland, it has predominantly been used for revegetating purposes. Due to alkaloid content, it is not suitable for grazing or feedstuff, unless sweet variety can be established. Another possibility would be to process the harvested plant to remove the alkaloids. Results indicate that the total alkaloid content is 1–2% DM and up to 16 different alkaloids are present, sparteine being the most abundant. The total amount is very variable however, but follows daylength, with the peak in early of July.

The properties of quinolizidine alkaloids, formation, structure and their effect on other living organisms are summerized. Results on Icelandic Nootka lupine are presented.

Key words: annual variation, *Lupinus nootkatensis*, methodology, Nootka lupine, quinolizidine alkaloids.

INNGANGUR

Alaskalúpínan (*Lupinus nootkatensis* Donn ex Sims – Leguminosae) barst fyrst til landsins um síðustu aldamót. Í upphafi var hún fyrst og fremst notuð sem skrautplanta í gördum (Einar Helgason, 1911). Árið 1945 var hún flutt til landsins á ný (Hákon Bjarnason, 1957, 1981) og hefur síðan þá skotið varanlegum rótum í íslensku flórunni.

Ýmsar rannsóknir hafa verið gerðar hér á

nýtingarmöguleikum lúpína, bæði einærum og fjölærum tegundum, og einnig sætum og beiskum yrkjum. Þær fyrstu má rekja til byrjunar aldarinnar (Einar Helgason, 1902; Ólafur Jónsson, 1938). Á síðustu árum hefur verið unnið að rannsóknum á þessari tegund eftir að áhugi á henni jókst. Þessar rannsóknir hafa beinst að ræktun hennar (Andrés Arnalds og Sigfús Bjarnason, 1980; Friðrik Pálmason,

1989; Friðrik Pálmason o.fl., 1992), nýtingu lúpínutegunda til beitar fyrir sauðfé (Ólafur Guðmundsson og Sveinn Runólfsson, 1988; Jóhann Þórsson o.fl., 1992; Jóhann Þórsson og Ólafur Guðmundsson, 1993; Ólafur Guðmundsson o.fl., 1994) og vistfræði alaskalúpínunnar (Borgþór Magnússon, 1995). Rannsókuð hafa verið sæt og beisk yrki ýmissa lúpínutegunda. Niðurstöður beitartilrauna á sætum lúpínuyrkjum hafa lofað góðu en niðurstöður tilrauna þar sem beiska alaskalúpínan hefur verið reynd hafa valdið vonbrigðum. Ástæða þess er talin vera beiskjuefnainnihald hennar.

BEISKJUEFNI

Hlutverk

Alaskalúpínan einkennist m.a. af svokölluðum kírólín beiskjuefnum (quinolizidine alkaloids) líkt og aðrar beiskar lúpínur. Þau eru annars stigs efnasambönd sem gegna hlutverki í vörnum gegn afráni, svo sem beit, og einnig ýmsum sjúkdómum og sníklum. Einnig eru beiskjuefni talin gegna hlutverki í samkeppni milli plantna um ljós, vatn og næringarefni (Wink, 1993a). Wink (1994) hefur tekið saman helstu varnaraðferðir plantna gegn afráni, örverum og samkeppni frá öðrum plöntum:

- Endurnýjun laufblaða og greina eftir afrán – „opinn vöxtur“.
- Mekanískar varnir (þyrnar, gaddar, ætandi og ertandi efni í þyrnum eða hárum).
- Þykkur börkur og vaxlag.
- Kvoða í kvoðugöngum, sem vellur út ef planta særast.
- Frumuvefur með lágum meltanleika vegna mikils magns sellulósa, pektíns, súberíns eða ligníns.
- Myndun ýmissa varnarefna:
 - Í vaxlagi á yfirborði, svo sem flavonóíðar.
 - Myndun próteina, sem hindra meltingu eða eru eitruð, og ensíma, sem eru geymd í vefjum (safabólur, frumuvegur, millifrumusvæði).

- Forðaprótein án amínósýra sem eru afræningjum nauðsynleg, t.d. lýsín og meþíónín (korn og belgjurttir).
- Fælandi eða eitruð annars stigs efnasambönd sem verka gegn örverum, veirum og/eða afræningjum. Þessi efnasambönd eru geymd í þeim vefjum sem líklegastir eru til að verða fyrst fyrir afráni (þekjuvefur) eða í vefjum sem eru plöntunum mikilvægir við æxlun og afkomu (blóm, aldin/fræ, rætur).

Kírólín beiskjuefni er víða að finna hjá belgjurtaættinni. Þau eru til dæmis í öllum tegundum lúpínuættkvíslarinnar, en eru hins vegar ekki einskorðuð við hana því þau er að finna í a.m.k. sjö öðrum ættum jurta (Wink og Witte, 1983). Kírólín beiskjuefni hafa hins vegar verið nefnd „lúpínubeiskjuefni“ einu nafni vegna útbreiðslu þeirra (Hartmann, 1988). Nú eru þekkt yfir 170 mismunandi kírólín beiskjuefni (Kingham og Baladrin, 1984; Wink, 1993a). Þau innihalda öll að minnsta kosti einn kírólín-hring og hafa verið flokkuð í nokkra mismunandi byggingarhópa (1. mynd) (Wink, 1993b).

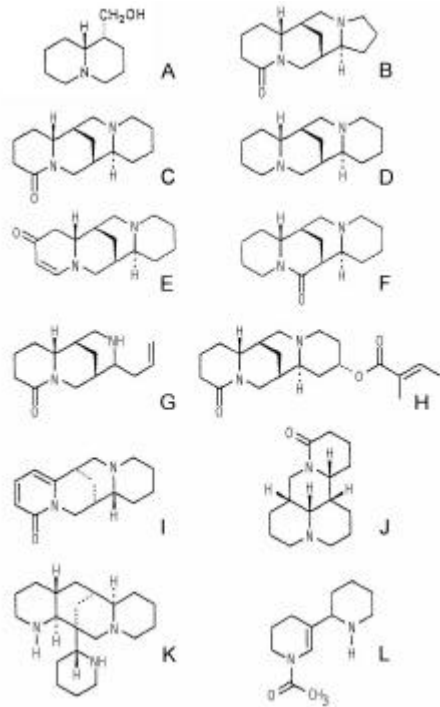
Myndun

Kírólín beiskjuefni myndast í grænuörnum út frá amínósýrunni lýsíni (Wink og Hartmann, 1982b). Mest myndast í ungum vef, þau flytjast síðan um sáldæðar til annarra vefja þar sem þau safnast upp í safabólum (Wink, 1993a). Mest safnast fyrir af beiskjuefnum í þekjuvef, fræjum og rótum (2. mynd) (Hartmann, 1988). Fræ eru sérstaklega rík af beiskjuefnum, allt að 8% af þurrvigt þeirra geta verið beiskjuefni (Kolodziejski o.fl., 1968; Wink, 1992).

Myndunarferill kírólín beiskjuefna er talinn vera lýsín → kadaverín → lúpanín með nokkrum milliskrefum sem ekki er getið hér. Forveranum, lýsíni, er breytt í kadaverín með afkarboxýleringu (decarboxylation), sem síðan er breytt í lúpanín og spartein með umamínun (transamination). Önnur beiskjuefni eru talin myndast út frá lúpaníni og sparteini, en rannsóknir benda einnig til þess að spartein sé

myndað út frá kadaveríni og lúpaníni (Wink, 1992; Meissner og Wink, 1992).

Þar sem kínólín beiskjuefni myndast í grænu-kornum kemur ekki á óvart að myndun þeirra



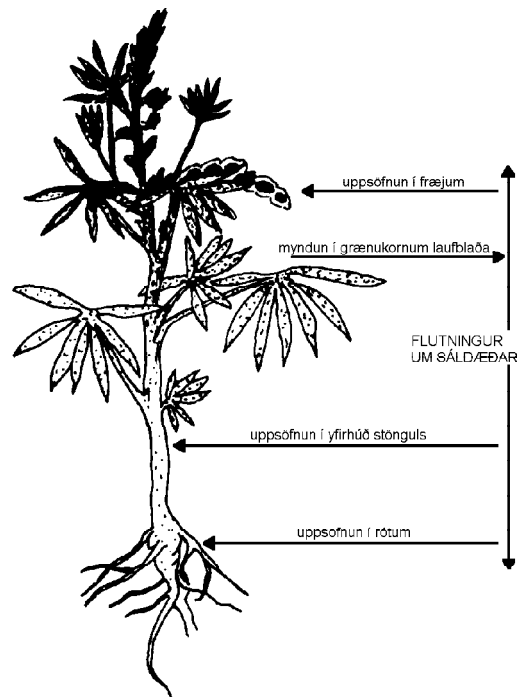
1. mynd. Byggingarhópar kínólín beiskjuefna (Wink, 1993b). A=lúpinín, B=camoensidín, C=lúpanín, D=spartein, E=múltiflórín, F=afyllín, G=angustifólín, H=13 α -tigloyl-oxýlúpanín, I=anagýrín, J=matrín, K=piptantín, L=ammódendrín. C, D, G og H gerðir beiskjuefna finnast hjá öllum ættbálkum belgjurta. I gerðir (α -Pýridonar) eru einnig mjög algengir. E og F gerðir eru eingöngu í nokkrum ættkvíslum, sama má segja um B gerðir sem finnast í þremur ættkvíslum. A gerðir eru eingöngu í fáum tegundum.

Figure 1. Structural groups of quinolizidine alkaloids (Wink, 1993b). A=lupinine, B=camoensidine, C=lupanine, D=sparteine, E=multiflorine, F=afylline, G=angustifoline, H=13 α -tigloyloxy-lupanine, I=anagyrine, J=matrine, K=piptantine, L=ammodendrine. C, D, G og H types are found in all tribes of Leguminosae. I types (α -Pyridones) are also common. E and F types are only in few genera, same applies for B types which are found in three genera. A types are only found in few species.

skuli stjórna af birtu (Wink og Hartmann, 1982a). Þetta sést hvað best af því að magn beiskjuefna er yfirleitt mest síðari hluta dags. Það er einnig vel þekkt að afrán eykur myndun kínólín beiskjuefna, jafnvel í myrkri, sem styður þá kenningu að hér sé um að ræða varnarkerfi gegn afráni (Wink, 1983; Wink, 1984). En það bendir einnig til að annað óþekkt kerfi, eða hvati, sé virkt við myndun kínólín beiskjuefna.

Eiginleikar kínólín beiskjuefna

Ýmislegt er vitað um líffræðilega og lyfjafræðilega eiginleika kínólín beiskjuefna sem finnast í lúpínum. Kínólín beiskjuefni með



2. mynd. Yfirlitsmynd sem sýnir myndunarstaði, dreifingu, flutning og uppsöfnun kínólín beiskjuefna í lúpínuplöntu. Svartur litur sýnir uppsöfnun beiskjuefna. Niðurbrot á sér stað í öllum vefjum. (Waller og Nowacki, 1978; Hartmann, 1988).

Figure 2. Schematic picture showing formation, distribution and translocation of quinolizidine alkaloids in lupine. Concentration is indicated with dark areas. Degradation occurs in all tissues. (Waller and Nowacki, 1978; Hartmann, 1988).

1. tafla. Líffræðileg virkni nokkurra kínlólín beiskjuefna sem hafa fundist í íslenskri alaskalúpínu (*L. nootkatensis*). Byggt á Wink (1992).

Table 1. Biological effect of quinolizidine alkaloids found in Nootka lupine (Lupinus nootkatensis). Based on Wink (1992).

Samkeppni á milli tegunda þar sem beiskjuefni koma við sögu (allelopathy)		
Sveifgrös	Blanda beiskjuefna	Hindrar fræspírur (ED ₅₀ 1,5 mM) ^{a)}
Salat	Blanda beiskjuefna	Hindrar fræspírur (ED ₅₀ 1,5 mM)
	Sparteín	Hindrar fræspírur (20% við 4 mM)
	Lúpanín	Hindrar fræspírur (65% við 10 mM)
<i>L. albus</i>	Blanda beiskjuefna	Engin hindrun á fræspírur við 8 mM
Veirur		
PotatoX-veira í <i>Nicotiana</i> sp.	Sparteín	Tálmár fjölgun
Bakteríur		
<i>Streptococcus viridis</i> (+)	Sparteín	Hindrar vöxt (ED ₅₀ <0,5 mM)
<i>Micrococcus luteus</i> (+)	Sparteín	Hindrar vöxt (ED ₅₀ 1,5 mM)
<i>Mycobacterium phlei</i> (+)	Sparteín	Hindrar vöxt (ED ₅₀ 7,5 mM)
<i>Bacillus megaterium</i> (+)	Sparteín	Hindrar vöxt (ED ₅₀ 3 mM)
<i>Bacillus subtilis</i> (+)	Sparteín	Hindrar vöxt (ED ₅₀ 0,5 mM)
<i>Serratia marcescens</i> (-)	Sparteín	Hindrar vöxt (50% við 10 mM)
<i>Staphylococcus aureus</i> (+)	13-hydroxýlúpanín	Hindrar vöxt MIC ^{b)} 50 mM
<i>Bacillus subtilis</i> (+)	13-hydroxýlúpanín	Hindrar vöxt MIC 50 mM
	Lúpanín	Hindrar vöxt MIC 50 mM
	Sparteín	Hindrar vöxt MIC 50 mM
	13-hydroxýlúpanín	Hindrar vöxt MIC 50 mM
<i>Bacillus thuringensis</i> (+)	Lúpanín	Hindrar vöxt MIC 50 mM
	Sparteín	Hindrar vöxt MIC 50 mM
	13-hydroxýlúpanín	Hindrar vöxt MIC 50 mM
<i>Escherichia coli</i> (-)	Lúpanín	Hindrar vöxt MIC 50 mM
	Sparteín	Hindrar vöxt MIC 50 mM
	13-hydroxýlúpanín	Hindrar vöxt MIC 50 mM
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (-)	Lúpanín	Hindrar vöxt MIC 50 mM
	Sparteín	Hindrar vöxt MIC 50 mM
	13-hydroxýlúpanín	Hindrar vöxt MIC 50 mM
Sveppir		
<i>Aspergillus oryzae</i>	Sparteín	Hindrar vöxt (42% við 15 mM)
<i>Alternaria porri</i>	Sparteín	Hindrar vöxt (40% við 15 mM)
<i>Piricularia oryzae</i>	Sparteín	Hindrar vöxt (18% við 15 mM)
<i>Helminthosporium carbonum</i>	Sparteín	Hindrar vöxt (33% við 15 mM)
<i>Rhizoctonia solani</i>	Sparteín	Hindrar vöxt (15% við 15 mM)
<i>Fusarium oxysporum</i>	Sparteín	Hindrar vöxt (5% við 15 mM)
<i>Erysiphe graminis</i> f.sp.hordei	Lúpanín	Hindrar kóníðmyndun (ED ₅₀ 2 mM)
	Sparteín	Hindrar kóníðmyndun (ED ₅₀ <2 mM)
Práð- og bandormar		
<i>Tufflex</i>	Sparteín	Banvænt við 0,03% styrk
Lindýr		
<i>Helix pomatia</i>	Sparteín	Dregur úr áti (ED ₅₀ 0,6–0,7 mM)
	Lúpanín	Dregur úr áti (ED ₅₀ 1–7 mM)

Framhald á næstu síðu

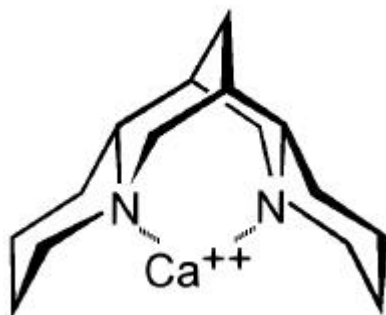
Hryggdýr		
K ⁺ göng	Sparteín	Lokar K ⁺ göngum í frumhimnu
Próteinmyndun	Sparteín	Truflar tRNA syntetasa
	13-hydroxýlúpanín	Truflar Phe-tRNA (ED ₅₀ við 0,5 mM)
	Lúpanín	Truflar Phe-tRNA (ED ₅₀ við 0,5 mM)
	Sparteín	Truflar Phe-tRNA (ED ₅₀ við 0,5 mM)
Eiturvirkni við á LD _{50/100} ^{c)}	Sparteín	LD ₅₀ mýs, 350(m)–510(f) mg kg ⁻¹
	Sparteín	LD ₁₀₀ kanínur, 450 mg kg ⁻¹
	Lúpanín	LD ₅₀ mús, 410 mg kg ⁻¹
	Sparteín	LD ₅₀ rottur, 1464 mg kg ⁻¹
Lyfjavirkni	Sparteín	Veldur legsamdráttum
	Sparteín	Hefur áhrif á hjartslátt
	Sparteín	Þvagræsisáhrif, lækkar blóðsykur
	Sparteín	Örvandi og lamandi áhrif
	Sparteín	Sljóvgar miðtaugakerfi
	Lúpanín	Hefur áhrif á hjartslátt, lækkar blóðþrýsting og blóðsykur

a) ED: Virkur skammtur—*Effective dose*.

b) MIC: Minnsti virki skammtur—*Minimal inhibitory concentrate*.

c) LD: Banvænn skammtur—*Lethal dose*.

prívíddarbyggingu, svipaða sparteini eða lúpaníni (sjá 3. mynd), virka sem bindlar (ligants) fyrir tvígildar jónir eins og Mg⁺⁺ og Ca⁺⁺ og geta haft áhrif á dýr með þeim hætti. Af kínólín beiskjuefnum liggja mestar upplýsingar fyrir um spartein og lúpanín og áhrif þeirra á hryggdýr, enda þau efni sem mest er af. Á síðari árum hafa augu manna einnig beinst að verkun þessara efna á ýmsar aðrar lífverur. Í ljós kemur að virkni þeirra er afar víðtæk og má greina hana á hryggleysingjum, plöntum og



3. mynd. Bygging kínólín beiskjuefna (α -ísosparteín) og binding þess við tvígildar jónir (Kinghorn og Baladrin, 1984).

Figure 3. QA structure (α -isosparteine) and its binding to bivalent ions (Kinghorn and Baladrin, 1984).

sveppum. Slíkt þarf ekki að koma á óvart þegar haft er í huga að kínólín beiskjuefni eru talin hafa þróast sem hluti af varnarkerfum lúpínunnar. Áhrif á sveppi, aðrar jurtir og bakteríur eru einnig þekkt (Wink, 1992). Af kínólín beiskjuefnum hefur einungis spartein verið skráð sem lyf.

Wink (1992, 1994) hefur gert rannsóknir á líffræðilegum og lyfjafræðilegum áhrifum einstakra kínólín beiskjuefna og tekið saman birtar niðurstöður á þessu sviði, m.a. eru þekkt áhrif á vöxt annarra plantna, neikvæð áhrif á fjölgun veira, baktería og sveppa. Einnig hafa fundist eituráhrif á þráð- og bandorma, lindýr og ýmis hryggdýr. Þetta er tekið saman í 1. og 2. töflu fyrir nokkur kínólín beiskjuefni sem þekkt eru í alaskalúpínu.

Sparteín. Sparteín stöðvar flutning um Na⁺ og K⁺ göng í frumhimnum, truflar próteinmyndun og hefur áhrif á prostaglandín (Abtahi o.fl., 1978). Þannig getur það m.a. valdið legsamdrætti með svipuðum hætti og hormónið oxycýtósín og það getur því valdið fósturláti á síðari hluta meðgöngu. Sparteín binst múskarínískum viðtökum asetýlkólíns og hefur þannig bein áhrif á taugaboð parasympatíska hluta sjálfvirka taugakerfisins, m.a. hefur það hemj-

2. tafla. Áhrif kínólín beiskjuefna, sem hafa fundist í íslenskri alaskalúpínu (*L. nootkatensis*), á grasætur úr hópi skordýra. Byggt á Wink (1992).

Table 2. Biological effect of quinolizidine alkaloids found in *Nootka lupin* (*Lupinus nootkatensis*) on insect herbivores. Based on Wink (1992).

Skortítur I (Hemiptera – Homoptera)		
<i>Acyrtosiphon pisum</i>	Sparteín	Dregur úr áti (ED ₅₀ 0,01%) ^{a)}
<i>Trialeurodes brassicae</i>	Blanda beiskjuefna	Eitrað
Skortítur II (Hemiptera – Heteroptera)		
<i>Dysdercus</i>	Lúpanín	Eitrað (LD ₁₀₀ 12 mM) ^{b)}
	Sparteín	Eitrað (LD ₁₀₀ 50 mM)
Fiðrildi (Lepidoptera)		
<i>Spodoptera eridania</i>	Sparteín	Dregur úr vexti og viðkomu
<i>Syntomis mogadorensis</i>	Sparteín	Dregur úr áti (70% við 1%)
	Lúpanín	Dregur úr áti (50% við 0,1%)
<i>Manduca sexta</i>	Sparteín	Dregur úr áti (ED ₅₀ 0,05%)
<i>Plutella maculipennis</i>	Lúpanín	Eitrað (LD ₁₀₀ 12 mM)
	Sparteín	Eitrað (LD ₁₀₀ 50 mM)
<i>Pieris brassicae</i>	Sparteín	Dregur úr áti (phagorepellent)
Bjöllur (Coleoptera)		
<i>Entomoscelis americana</i>	Sparteín	Dregur úr áti (10 mM 100%)
<i>Callosobruchus maculatus</i>	Sparteín	Banvænt við 0,1% styrk í fóðri
<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	Blanda beiskjuefna	Dregur úr áti og vexti
<i>Phaedon</i> spp.	Lúpanín	Eitrað (LD ₁₀₀ 12 mM)
Tvívængjur („flugur“ – Diptera)		
<i>Phormia regina</i>	Sparteín	Dregur úr áti
<i>Ceratitis capita</i>	Lúpanín	Eitrað (LD ₁₀₀ 3 mM)
	Sparteín	Eitrað (LD ₁₀₀ 9 mM)
Æðvængjur (býflugur, vespur, maurar – Hymenoptera)		
<i>Apis mellifera</i>	Sparteín	Dregur úr áti (ED ₅₀ 0,03%)
	Sparteín	Eitrað (LD ₅₀ 0,05%)
<i>Formica rufa</i>	Sparteín	Dregur úr áti (ED ₁₀₀ 1%)
	Lúpanín	Dregur úr áti (ED ₁₀₀ 1%)

a) ED: Virkur skammtur—*Effective dose*.

b) LD: Banvænn skammtur—*Lethal dose*.

andi áhrif á hjartavöðva en örvandi á aðra vefi, t.d. slétta vöðva meltingafæranna (Michael Wink, munnlegar upplýsingar). Sparteín veldur lítilsháttar lækkun blóðsykurs (hypoglycemic) í rottum. Það getur bæði örvað og haft lamandi áhrif á öndun, það sljóvgar miðtaugakerfið, truflar sjón og örvar þvagmyndun (Shani Mishkinsky o.fl., 1974; Samuelsson, 1982; Kinghorn og Baladrin, 1984; Eckert og Randall, 1983 (bls. 196 & 296); Yannai, 1990; Wink, 1992).

Lúpanín. Lúpanín stöðvar flutning um Na⁺ og K⁺ göng í frumuhimnum og truflar próteinmyndun eins og sparteín. Það truflar hjartslátt, lækkar blóðþrýsting og lækkar blóðsykur (Shani Mishkinsky o.fl., 1974). Lúpanín binst nikótínískum viðtökum asetýlkólíns og hefur því einnig áhrif á sjálfvirka taugakerfið. Þá er einkum að finna á mótum tauga og vöðva, en einnig er nikótíníska viðtaka að finna í taugahnoðum sympatíska og parasympatíska kerfis sjálfvirka taugakerfisins (Eckert og Ran-

dall, 1983 (bls. 196 & 296); Yannai, 1990; Wink, 1992).

Nýting beiskjuefna

Kínólín beiskjuefni eru auðleyst í vatni. Það hefur Nuxalk indjánþjóðflokkurinn í Kanada nýtt sér afar lengi. Með því að sjóða lúpínurætur skolast beiskjuefnin burt og þær verða ætar (Kuhnlein, 1990). Í Andesfjöllum og í kring um Miðjarðarhaf hafa beiskjuefni einnig verið skoluð úr lúpínufræjum í rennandi vatni síðustu árþúsundirnar þannig að þau yrðu hæf til neyslu (Gross, 1988).

Að minnsta kosti eitt einkaleyfi hefur nú verið skráð á vinnsluáferð þar sem vatn er notað við að ná beiskjuefnum úr lúpínufræjum, hin svokallaða Mittex[®] tækni (Kahnt og Hijazi, 1987, 1990, 1991). Hinn beiski vökvi sem úr þessari vinnslu fæst er seldur undir nafninu Lupinex[®] og hefur reynst auka uppskeru ýmissa tegunda, þ.á.m. eru kartöflur (Kahnt og Hijazi, 1990). Lupinex[®] hefur einnig reynst auka uppskeru salats, tómata, radísa og vínviðar og hann hefur dregið úr afráni blaðlúsa á eplatrjám (Dovrat og Yahalom, 1988; E.A. Weissmann, munnlegar upplýsingar). Vökvi á borð við Lupinex[®] virðist hafa tálmandi áhrif á fræspírur annarra tegunda en lúpínu (Muzquiz og de la Cuadra, 1988; Wink, 1992). Vitað er að önnur annars stígs efnasambönd í lúpínum, líkt og ýmis fenól, geta hindrað fræspírur og kímvöxt (Stobiecki o.fl., 1993). Sá eiginleiki beiskjuefna sem er hins vegar mest áberandi er neikvæð áhrif þeirra á grasbíta sbr. 1 og 2. töflu (Barnes o.fl., 1971; Williams o.fl., 1971; Pastuszewska o.fl., 1988; Hill, 1990; Jóhann Þórsson o.fl., 1992; Jóhann Þórsson og Ólafur Guðmundsson, 1993; Molyneux og Ralphs, 1992; Wink, 1992, 1994).

ALASKALÚPÍNA, TILRAUNIR OG MÆLINGAR

Yfirlit

Telja má að beiskjuefnamælingar á íslenskum alaskalúpínum (*L. nootkatensis*) hafi byrjað 1975–1976. Þá voru send fræsýni til greiningar hjá B.J.F. Hudson við matvælaeild háskólans

3. tafla. Niðurstöður beiskjuefnamælinga frá 1975–1976 á alaskalúpínufræjum við matvælaeild háskólans í Reading.

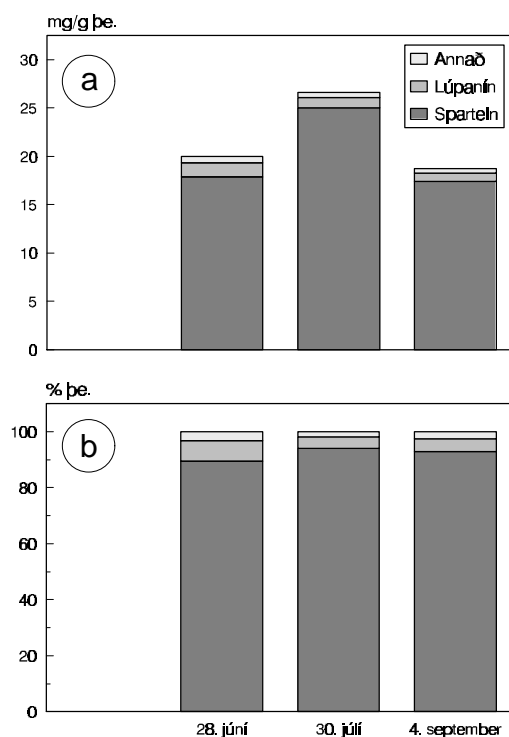
Table 3. Quinolizidine alkaloids in Icelandic Nootka lupine seed. Analysed at University of Reading, 1975–1976.

	Innihald Content
Heildarmagn, % þe. Total amount, % DM	
Mælt með gasgreini Analysed by gas chromatography	1,03
Mælt með títrun (sem lúpánín) Analysed by titration (as lupanine)	1,0
Einstök beiskjuefni, % af heild Individual alkaloids, % of total	
Sparteín— <i>Sparteine</i>	43,6
<i>a</i> -ísólúpánín— <i>a-isolupanine</i>	0,6
Lúpánín— <i>Lupanine</i>	35,3
4-hýdroxýlúpánín— <i>4-hydroxylupanine</i>	3,2
Óþekkt X2— <i>Unknown X2</i>	4,4
Óþekkt X4— <i>Unknown X4</i>	12,9

í Reading. Niðurstöður sýndu að heildarmagn beiskjuefna var um 1% (3. tafla). Magnið reyndist svipað og í fræjum *L. perennis* (1,12%), en nokkuð lægra en í *L. termis* (2,54%).

Sumarið 1979 voru send sýni til R.F. Keeler hjá Poisonous Plant Research Laboratory USDA, Utah. Ætlunin var að leita sérstaklega eftir beiskjuefninu anagýrín, en það er mjög eitrað og veldur alvarlegum fósturskaða hjá nautgripum (Keeler o.fl., 1976; Davis og Stout, 1986; James o.fl., 1992). Niðurstöðurnar gáfu vísbendingar um að anagýrín geti verið til staðar í sýnunum en magnið var afar lítið (rúmlega 1% af heildarbeiskjuefnum) og því örðugt að ákvarða það nánar. Keeler taldi varla hættu á eiturverkunum af anagýrín, en taldi ástæðu til varúðar vegna mikils heildarmagns beiskjuefna. Í bréfi sem fylgdi niðurstöðunum sagði: “I would not be surprized if you encountered some death loss in sheep grazing these plants”. Í framhaldi af þessum niðurstöðum hófust beiskjuefnamælingar á RALA. Niðurstöður frá þeim tíma sýna að

magn beiskjuefna í alaskalúpínunni er yfirleitt á bilinu 0,5–1% af þurrefni, en geti farið upp í 2% (óbirt gögn). Fleiri sýni voru send til Poisonous Plant Research Laboratory USDA. Niðurstöður benda hins vegar hvergi til að anagýrín sé að finna í þeim. Lúpínusýnin voru einnig mæld með NIRS aðferð (Near Infrared Reflectance Spectroscopy) á sama stað. Niðurstöður NIRS mælinganna voru óáreiðanlegar hvað magn snertir, fyrst og fremst vegna þess að staðalsýni voru af öðrum tegundum en *L. nootkatensis*. Hins vegar má telja að NIRS mælingarnar sýni vel þær hlutfallslegu breytingar sem verða á beiskjuefnainnihaldinu yfir sumarið. Niðurstöður þessara mælinga hafa verið birtar í Fjölríti RALA nr 178 (Borgþór Magnússon, 1995, sjá 11. og 12. viðauka).



4. mynd. Magn beiskjuefna í alaskalúpínu (a) og hlutfallslegt magn þeirra (b). (Jóhann Þórssón og Ólafur Guðmundsson, 1993).

Figure 4. Quinolizidine alkaloids in *Nootka lupine* as measured 1990. Mg g⁻¹ DM (a) and percent DM (b). (Jóhann Þórssón and Ólafur Guðmundsson, 1993).

Sumarið 1989 var lítillega unnið að uppsetningu beiskjuefnamælinga á RALA og því verki var framhaldið árið 1990. Notuð var aðferð Kristínar Ingólfsdóttur og Hylands (1990) en einnig aðferðir Hudsons og Gale (óbirt gögn) og Priddis (1983). Af niðurstöðum mælinganna var ljóst að beiskjuefnin höfðu bein áhrif á át hjá fénu og virtist lúpanínmagnið ráða þar mestu (Jóhann Þórssón og Ólafur Guðmundsson, 1993). Alls mældust sex beiskjuefni. Þrjú þeirra eru þekkt með vissu, spartein, lúpanín og 17-OH lúpanín. Langmest virðist af sparteini en næst mest af lúpaníni (4. mynd), og kemur það vel heim við niðurstöðurnar sem fengust frá háskólanum í Reading. Önnur niðurstaða þessara mælinga var að magn beiskjuefna virtist aukast í rótum þegar líður á sumarið (5. mynd) (Borgþór Magnússon, 1995, sjá 10. viðauka).

Niðurstöður fóðrunar- og beitartilrauna sem gerðar hafa verið hér á sauðfé benda sterklega til að alaskalúpínan henti illa til beitar vegna beiskjuefnainnihalds hennar (Jóhann Þórssón o.fl., 1992; Jóhann Þórssón og Ólafur Guðmundsson, 1993; Guðjón Egilsson, 1993). Því hefur nú verið lögð áhersla á að greina enn frekar hvaða kíólín beiskjuefni er að finna í alaskalúpínunni og hversu mikið er af þeim.

Fáar erlendar heimildir er að finna um alaskalúpínu, enda er hún ekki mikilvæg jurtt í landbúnaði eða iðnaði. Nýlegar erlendar niðurstöður benda hins vegar til þess að allt að 16 mismunandi kíólín beiskjuefni geti verið í henni, mest af lúpaníni (Wink o.fl., 1995). Eitt af þessum beiskjuefnum er anagýrín sem fyrr var minnst á. Athyglisvert er að samkvæmt þeim niðurstöðum sem nú liggja fyrir er spartein algengasta kíólín beiskjuefnið í íslensku lúpínunni, sem stangast á við það sem fyrr er sagt um erlendar niðurstöður. Þær renna hins vegar stoðum undir eldri mælingar á íslensku alaskalúpínunni sem gerðar hafa verið erlendis (Borgþór Magnússon, 1995, 4. tafla; Jóhann Þórssón, óbirt gögn). Því gæti verið að íslenski alaskalúpínustofninn væri að einhverju leyti frábrugðinn öðrum hvað þetta mynstur

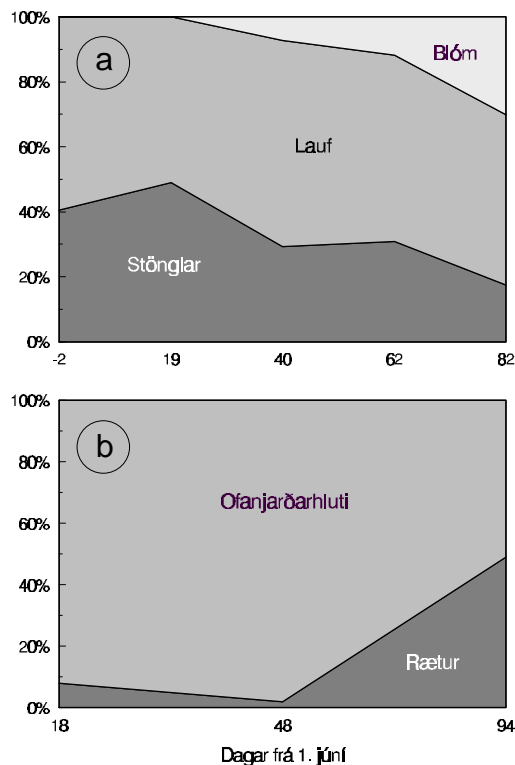
varðar. Benda verður á að þær mælingar sem nú fara fram eru gerðar á laufblöðum, en önnur gögn um kínólín beiskjuefni eru yfirleitt byggð á mælingum á fræjum (Harris, 1988ab; Tyski o.fl., 1988; Williams, 1984; Chango o.fl., 1993; Takagi o.fl., 1994; Keeler o.fl., 1976), og því kann að vera varasamt að draga of sterkar ályktanir af þessum mun.

Þar sem kínólín beiskjuefnaframleiðsla er stýrt af ljósmagni kemur ekki á óvart að verulegur breytileiki er á magni þeirra eftir tíma sumars. Niðurstöður benda til þess að í september sé heildarmagn beiskjuefna í íslensku

alaskalúpínunni aðeins um 20% af því sem gerist í júní (6. mynd). Erfðafræðilegur breytileiki, breytileiki vegna hæðar yfir sjávarmáli og landfræðilegur breytileiki (Muzquiz o.fl., 1994; Wink og Carey, 1994) í kínólín beiskjuefnainnihaldi hjá lúpínum hefur einnig reynst mikill, þó að heildarmagn sé oft afar svipað (Majak o.fl., 1994). Þessi breytileiki bendir til þess að kynbætur á lúpínu með ræktun sæts yrkis að markmiði, ættu að vera mögulegar. Hins vegar virðast um 30% af íslensku alaskalúpínunni vera víxlfrjóvguð (Snorri Baldursson, 1995) og því gæti stöðugleiki slíks yrkis verið lítill.

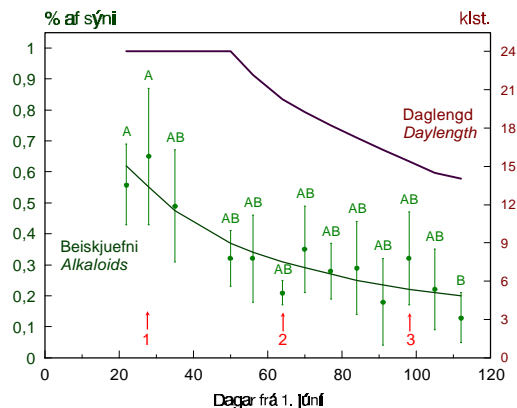
Beiskjuefni í íslensku alaskalúpínunni, magn og hegðun

Í kjölfar þeirrar niðurstöðu að alaskalúpína henti ekki sem fóður fyrir sauðfé og illa sem beitaplanta var ráðist í að koma upp gagnlegri mæliaðferð fyrir beiskjuefni og afla upplýsinga



5. mynd. Hlutfallsleg dreifing beiskjuefna í alaskalúpínu. Mælt með NIRS aðferð (a) og gasgreini (b). Ekki er um sömu plöntur að ræða í a og b. (Borgþór Magnússon, 1995).

Figure 5. Proportional distribution of quinolizidine alkaloids in Icelandic Nootka lupine. Stems, leaves and flowers analysed by NIRS at Poisonous Plant Research Laboratory USDA, Utah (a) and roots and green part analysed by GC at Agricultural Research Institute (b). (Borgþór Magnússon, 1995).



6. mynd. Heildarbeiskjuefnainnihald í lúpínulaufum sem safnað var sumarið 1995. Hvert mæligildi er meðaltal fimm mælinga; mismunandi bókstafir tákna marktækan mun (kíkvadrát=34,9; df=12; $P < 0,001$), súlur sýna staðalskekkju meðaltals. Daglengd er reiknuð sem mismunur myrkurs og birtingar. Á myndina eru merktir dagarnir 29. júní (1), 4. ágúst (2) og 7. september (3); sjá nánar í texta.

Figure 6. Quinolizidine alkaloid content in Nootka lupine in summer. Different letters indicate statistical significance of the mean ($n=5$), bars indicate standard deviation. Arrows indicate sampling days with blue sky (1 and 3) or heavy overcast (2).

um magn og fjölda beiskjuefna og breytileika þeirra í alaskalúpínunni sem hér vex. Sérstaklega þarf að kanna hvort anagýrín sé að finna, en fram til þessa hefur það verið talið ólíklegt. Til verkefnisins fékkst styrkur frá Vísindasjóði Rannsóknarráðs og því er nú að hluta lokið. Breytileiki vegna dægur- og árstíðasveiflna í lúpínu eru þekktar og þær geta verið talsverðar (Wink og Hartmann, 1982a). Nauðsynlegt er að þekkja til þeirra hluta ef farið er í kynbótastarf.

Aðferð

Plöntur til mælinganna voru valdar af handahófi í um 25 ára gamalli lúpínusáningu á Keldnaholti (Borgþór Magnússon o.fl., 1995, bls. 16). Sýni voru tekin 13 sinnum yfir sumarið, fimm í hvert sinn, alls 65 sýni af jafn mörgum plöntum. Fyrstu sýni voru tekin 23. júní en þau síðustu 21. september. Laufblöð voru fjarlægð af plöntunum og þeim pakkað jafnóðum í lofttæmda poka og fryst uns mæling var gerð.

Sýnaundirbúningur og mælingar. Nokkrar greinar hafa birst um aðferðir til að einangra og mæla alkalóíða í alaskalúpínu. Reynt var að velja úr þær aðferðir sem taldar voru heppilegastar til prófunar. Þar má nefna aðferðarlýsingu úr grein eftir Harris og Wilson (1988), Wink (1983) og Wink o.fl. (1995). Aðferðir Winks við sýnaundirbúning hafa þróast með árunum og eru mjög einfaldar. Við prófanir reyndist sýnaundirbúningur fljótlegur og heimtur mjög góðar. Aðferð Winks, með lítillsháttar breytingum, var því valin til sýnaundirbúnings.

Fimm grömm af laufblaðasýni er vigtað í 100 ml tilraunaglas og marið eða gert einsleitt í 30 ml af 2N saltsýrulausn með n.k. töfrasprota (tissumizer). Lausnin er skilundin við 3000 rpm í 30 mín. Yfir í erlenmeyerflösku eru teknir 10 ml og gert basískt (pH=10) með 25% ammoníumhýdroxíði. Lausnin litast brún og er henni hellt ofan í extrolut® súlu sem inniheldur sérstaklega útbúið kísilgel (Merck). Að lokum er 50 ml af díklórmetani hellt á súluna og leysinum safnað í suðukolbu. Sýni

er síðan inngufað og að lokum leyst í 2 ml af metanóli og mælt í gasgreini. Spartein er notað sem ytri staðall.

Sýnin eru mæld með gasgreini (Varian Star 3400, Varian 8200 autosampler). Notuð er glersúla (Supelco SPB-1, 30 m × 0,75 mm i.d., 1 mm filma) og köfnunarefnis/fosfór skynjari (NPD) sem er sértækur á efni sem innihalda annaðhvort köfnunarefni eða fosfór. Truflanir vegna annarra efna en beiskjuefna eru því í lágmarki. Gögnum er safnað og úr þeim unnið með Varian Star hugbúnaði. Stillingar voru sem hér segir:

Súla:	90°C í 2 mín., síðan hituð um 10°C/mín í 230°C
Sýnaskammtari:	Split, 290°C
Skynjari:	NPD, 300°C
Burðargas:	Helium
Þrýstingur á súlu:	7 psi
Skolvökvi:	Metanól

Niðurstöður

Þegar niðurstöður mælinganna eru skoðaðar þá sést mjög mikill breytileiki, bæði innan söfnunartíma (milli plantna) og eins milli söfnunartíma. Breytileikinn milli plantna er nokkur eins og vænta mátti, en þó varla meiri en gera má ráð fyrir í villtum stofni. Mikill breytileiki hjá lúpínum er vel þekktur, t.d. hjá *Lupinus arcticus* og *L. polyphyllus*, tegundum sem eru skyldar alaskalúpínunni (*L. nootkatensis*) (Majak o.fl., 1994) og einnig hjá *L. argenteus* (Wink og Carey, 1994). Breytileiki milli söfnunartíma fylgir hins vegar ákveðnu mynstri, sem er í raun árstíðarsveifla. Þar sem myndun beiskjuefna er ljósháð (Wink og Hartmann, 1981, 1982ab), ætti magn þeirra að vera mest um og rétt eftir sumarsólstöður, en falla úr því. Niðurstöðurnar eru nokkuð í samræmi við það, eins og sést á 6. mynd. Þar kemur fram að heildarmagn beiskjuefna minnkar eftir því sem á sumarið líður og dagur stytst, og má þar sjá fyrirnefnda árstíðasveiflu. Gögnin falla að aðhvarfslíkingunni:

$$\text{Meðalbeiskjuefnainnihald} = \frac{1}{\{73,55 + [3,94 \times (\text{dagur frá 1. júní})]\}} \quad (1)$$

og skýrir hún um 48% breytileikans. Daglengd fyrir tímabilið var reiknuð út og var þá miðað við mismun myrkurs og birtingar (Þorsteinn Sæmundsson, 1994), sjá 6. mynd. Línulegt aðhvarf milli meðalbeiskjuefnainnihalds og daglengdar var reiknað:

$$\text{Meðalbeiskjuefnainnihald} = -0,29 + [0,76 \times (\text{daglengd í klst.})] \quad (2)$$

Líkingin er marktæk og skýrir um 77% breytileikans ($F=36,48$; $df=12$).

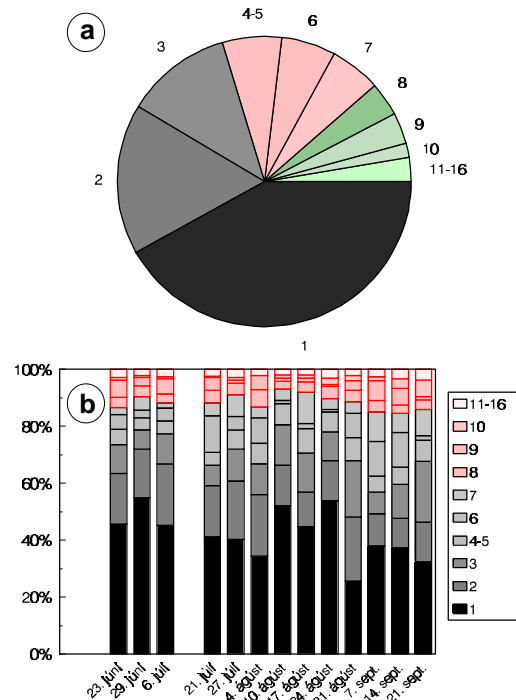
Vísbendingar um hversu mikil áhrif birta á hverjum degi hefur á breytileika í beiskjuefnainnihaldi kemur vel fram. Eins og má sjá á 6. mynd þá er magn beiskjuefna óvenju hátt 29. júní og 7. september (nr 1 og 3), en óvenju lágt 4. ágúst (nr 2) og 21. september (síðasta sýnasöfnun). Þetta má rekja til birtuáðstæðna á þessum dögum: 29. júní og 7. september var óvenjulega bjart miðað við aðra söfnunardaga, en 4. ágúst og 21. september var hins vegar óvenju dimmt yfir og það virðist koma fram í beiskjuefnainnihaldi.

Alls hafa mælst 16 mismunandi beiskjuefni. Algengasta beiskjuefnið sem mælist er, eins og fyrr segir, spartein, en á eftir því koma lúpanín og 13-epihýdroxýlúpanín í þessari röð, sjá 7. mynd.

Þessar niðurstöður styðja fyrri mælingar á íslensku alaskalúpínunni en erlendis er algengara að spartein sé í meira magni en lúpanín hjá lúpínunum, (Kinghorn o.fl., 1980; von Baer, 1980; Wink o.fl., 1980, 1982c; Wink og Hartmann, 1981; Wink og Witte, 1983, 1984; Meissner og Wink, 1992; Muzquiz o.fl., 1994; Wink, 1994; Wink og Carey, 1994). Þó má finna dæmi um slíkt, og er athyglisvert að meðal tegunda sem hafa meira af spartein en lúpanín er *L. arcticus*, sem er náskyld alaskalúpínunni (Majak o.fl., 1994). Aðrar tegundir þar sem fundist hefur svipað mynstur hjá eru *L. diffusus* og *L. elegans* (Goldberg og Moates, 1967; Kolodziejcki o.fl., 1968).

Mikill breytileiki er hins vegar hvað varðar magn einstakra beiskjuefna innan tegunda. Þannig má finna heimild um alaskalúpínu þar sem meira mælist af lúpaníni en sparteini, öfugt við það sem þessar mæliniðurstöður

benda til. Slíkar misvísandi niðurstöður má raunar finna fyrir aðrar tegundir, t.d. *L. elegans* (Wink o.fl., 1995). Í niðurstöðunum sem hér hafa fengist má glögglega sjá hversu mikill þessi breytileiki getur verið, þar sem hver mæling er gerð á einni plöntu (7. mynd). Ekki



7. mynd. Hlutfallslegt magn einstakra beiskjuefna í lúpínulaufblöðum samkvæmt mælingum á sýnum frá 1995, meðaltal allra mælinga (a) og meðaltal fimm plantna hvers dags (b). 1=spartein, 2=lúpanín, 3=13-epihýdroxýlúpanín, 4-5=OH-lúpanín og óþekkt efni, 6=múltiflórin, 7=lúsitánín, 8=dehydrolúpanín, 9=11,12-seco-dehydromúltiflórin, 10=11,12-dehydrosparteín, 11-16=OH-17-oxósparteín, ammódendrín, díhydroxýlúpanín, OH-múltiflórin og óþekkt beiskjuefni.

Figure 7. Proportional amount of quinolizidine alkaloids in Nootka lupine. Whole summer (a) and average for each sampling day ($n=5$) (b). 1=spartein, 2=lupanine, 3=13-epihydroxylupanine, 4-5=OH-lupanine and unknown matters, 6=multiflorine, 7=lusitanine, 8=dehydrolupanine, 9=11,12-seco-dehydromultiflorine, 10=11,12-dehydrosparteín, 11-16=OH-17-oxosparteín, ammódendrine, dihydroxylupanine, OH-multiflorin and unknown alkaloids.

er hægt að sjá árstíðabundna sveiflu í magni einstakra beiskjuefna af þessum gögnum, enda erfitt að sjá slíkt með mælingum á óskuldum einstaklingum vegna mikils erfðabreytileika.

ÞAKKARORÐ

Verkefnið hefur að hluta verið styrkt af Vísindasjóði Rannsóknarráðs Íslands. Tryggvi Eiríksson, Bjarni Pálsson og Guðríður Þórhallsdóttir veittu aðstoð við sýnasöfnun og sýnaundirbúning. Öllum þessum aðilum eru færðar þakkir fyrir.

HEIMILDIR

- Abtahi, F.S., F.J. Auletta, D. Sadeghi, B. Djahanguire & A. Scommegna**, 1978. Effect of sparteine sulfate on uterine prostaglandin F in the rat. *Prostaglandins* **16**: 473–482.
- Andrés **Arnalds** & Sigfús **Bjarnason**, 1980. Tilraunir með einærar lúpínutegundir. Í: *Jarðræktartilraunir* (ritstj. Hólmgeir Björnsson). *Fjölrit RALA nr 71*: 112–119.
- Baer**, von D., 1980. *Alkaloide in Lupinus mutabilis. Bestimmungsmethoden und Gehalt in Samen und Produkten*. Dissertation, University of Kiel.
- Barnes, R.F., A.B. Simons & G.C. Marten**, 1971. Evaluation of selected clones of *Phalaris arundinacea* II. Indole alkaloid derivatives. *Agronomy Journal* **63**: 507–509.
- Borgþór **Magnússon**, 1995. Líffræði alaskalúpínu (*Lupinus nootkatensis*). Vöxtur, fræyndun, efnainnihald og áhrif sláttar. *Fjölrit RALA nr 178*: 82 s.
- Borgþór **Magnússon**, Bjarni D. **Sigurðsson**, Sigurður H. **Magnússon** & Snorri **Baldursson**, 1995. Vöxtur og uppskera alaskalúpínu. Í: *Líffræði alaskalúpínu* (*Lupinus nootkatensis*). Vöxtur, fræyndun, efnainnihald og áhrif sláttar (ritstj. Borgþór Magnússon). *Fjölrit RALA nr 178*: 9–27.
- Chango, A., C. Villame, H.M. Bau, J.P. Nicolas & L. Mejean**, 1993. Debitting of lupin (*Lupinus luteus* L.) protein by calcium alginate and nutritional evaluation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **63(2)**: 195–200.
- Davis, A.M. & D.M. Stout**, 1986. Anagyrene in Western American lupines. *Journal of Range Management* **39(1)**: 29–30.
- Dovrat, A. & E. Yahalom**, 1988. The effect of bitter-lupin-extract spray on the yield of sweet maize. Í: *Proceedings, 5th International Lupin Conference* (ritstj. T. Twardowski). PWRiL, Poznan, Poland: 700.
- Eckert, R. & D. Randall**, 1983. *Animal Physiology. Mechanisms and Adaptations*. 2. útg. W.H. Freeman & Co., New York: 830 s.
- Einar **Helgason**, 1902. Gróðrarstöðin. *Búnaðarritið* **16**: 61–69.
- Einar **Helgason**, 1911. Gróðrarstöðin í Reykjavík. Skýrsla um árin 1909 og 1910. *Búnaðarritið* **25**: 228–245.
- Friðrik **Pálmason**, 1989. Fóðurlúpína. *Freyr* **85(21)**: 879–884.
- Friðrik **Pálmason**, S.K.A. **Danso** & Guðni **Harðarson**, 1992. Nitrogen accumulation in sole and mixed stands of sweet-blue lupin (*Lupinus angustifolius* L.), ryegrass and oats. *Plant and Soil* **142**: 135–142.
- Goldberg, S.I. & R.F. Moates**, 1967. Alkaloids of *Lupinus diffusus* Nutt. *Phytochemistry* **6**: 137–140.
- Gross, R.**, 1988. Lupins in human nutrition. Í: *Proceedings, 5th International Lupin Conference* (ritstj. T. Twardowski). PWRiL, Poznan, Poland: 51–63.
- Guðjón **Egilsson**, 1993. *Nýting alaskalúpínu til sauðffjárbeitar*. B.Sc. ritgerð, Bændaskólinn á Hvanneyri, Búvísindadeild: 30 s.
- Harris, D.J.**, 1988a. Examination of alkaloid content in maturing sweet lupinseed. Í: *Proceedings, 5th International Lupin Conference* (ritstj. T. Twardowski). PWRiL, Poznan, Poland: 602–605.
- Harris, D.J.**, 1988b. Five year alkaloid survey of Western Australian lupinseed. Í: *Proceedings, 5th International Lupin Conference* (ritstj. T. Twardowski). PWRiL, Poznan, Poland: 593–597.
- Harris, D.J. & P.E. Wilson**, 1988. A rapid manual method of lupin alkaloidal analysis. Í: *Proceedings, 5th International Lupin Conference* (ritstj. T. Twardowski). PWRiL, Poznan, Poland: 598–601.
- Hartmann, T.**, 1988. Secondary metabolism of lupins: Biosynthesis, translocations and accumulation of the quinolizidine alkaloids. Í: *Proceedings, 5th International Lupin Conference* (ritstj. T. Twardowski). PWRiL, Poznan, Poland: 64–78.
- Hákon **Bjarnason**, 1957. Um innflutning plantna. *Ársrit Skógræktarfélags Íslands* **24**: 64–79.

- Hákon **Bjarnason**, 1981. Lúpínan frá Alaska. *Les-bók Morgunblaðsins* **56(33)**: 6–7.
- Hill**, G.D., 1990. Lupins in sheep nutrition. Í: *Proceedings, 5th International Lupin Conference* (ritstj. T. Twardowski). PWRiL, Poznan, Poland: 359–372.
- James**, L.F., D.B. **Nielsen** & K.E. **Panter**, 1992. Impact of poisonous plants on the livestock industry. *Journal of Range Management* **45**: 3–8.
- Jóhann **Þórsson**, Selma Huld **Eyjólfsdóttir** & Ólafur **Guðmundsson**, 1992. Utilization of *Lupinus nootkatensis* for sheep grazing under subarctic conditions. *Journal of Animal Science* **70(Suppl. 1)**: 189.
- Jóhann **Þórsson** & Ólafur **Guðmundsson**, 1993. Fóðrun á alaskalúpínu. Í: *Ráðunautafundur 1993* (ritstj. Tryggvi Gunnarsson). Búnaðarfélag Íslands og Rannsóknastofnun landbúnaðarins Reykjavík: 295–306.
- Kahnt**, G. & L.A. **Hijazi**, 1987. Effect of bitter lupin extract on growth and yield of different crops. *Journal of Agronomy & Crop Science* **159**: 320–328.
- Kahnt**, G. & L.A. **Hijazi**, 1990. Effect of bitter lupin extract (Lupinex®) on yield of grain crops and vegetable plants. Í: *Lupin Production and Bio-processing for Feed, Food and other By-products. Proceedings of the Joint CEC-NCRD Workshop Held in Israel (Ginozar Kibbutz) in January 1989* (ritstj. Y. Birk, A. Dovrat, M. Waldman & C. Uzureau). ECC, Brussels: 184–197.
- Kahnt**, G. & L.A. **Hijazi**, 1991. Use of lupinex to increase crop yield and improve harvest quality with lesser nitrogen fertilization. *Journal of Agronomy & Crop Science* **166**: 228–237.
- Keeler**, R.F., E.H. **Cronin** & J.L. **Shupe**, 1976. Lupin alkaloids from teratogenic and nonteratogenic lupins. IV. Concentration of total alkaloids, individual major alkaloids, and the teratogen anagryne as a function of plant part and stage of growth and their relationship to crooked calf disease. *Journal of Toxicology and Environmental Health* **1**: 899–908.
- Kinghorn**, A.D. & M.F. **Baladrin**, 1984. Quinolizidine alkaloids of the leguminosae: structural types, analysis, chemotaxonomy, and biological activities. Í: *Alkaloids – Chemical and Biological Perspectives*, vol. 2 (ritstj. W.S. Pelletier). Wiley, New York: 105–148.
- Kinghorn**, A.D., M.A. **Selim** & S.J. **Smolensk**, 1980. Alkaloid distribution in some new world *Lupinus* species. *Phytochemistry* **19**: 1705–1710.
- Kolodziejski**, J., S. **Gill** & M. **Zielinska**, 1968. Quinolizidine alkaloids in *Lupinus elegans* HBK during vegetation. *Dissertationes Pharmaceuticae Et Pharmacologicae* **20(3)**: 297–302.
- Kristín **Ingólfssdóttir** & P.J. **Hylands**, 1990. Pyrrrolizidine alkaloids in *Senecio vulgaris* L. growing in Iceland. *Acta Pharmaceutica Nordica* **2(5)**: 343–348.
- Kuhnlein**, H.V., 1990. Nutrient value in indigenous wild plant greens and roots used by the Nuxalk people of Bella Coola, British Columbia. *Journal of Food Composition and Analysis* **3**: 38–46.
- Majak**, W., W.J. **Keller**, Z.Y. **Duan**, D. **Munro**, R.A. **Smith**, A.M. **Davis** & R.T. **Ogilvie**, 1994. Alkaloid distribution in two species of *Lupinus* in central British Columbia. *Phytochemistry* **36**: 883–885.
- Meissner**, C. & M. **Wink**, 1992. GC/MS-Analyse von Alkaloiden Nord Amerikanischer Lupinen. Í: *Lupinen 1991 – Forschung, Anbau und Verwertung* (ritstj. M. Wink). Universität Heidelberg, Heidelberg: 91–129.
- Molyneux**, R.J. & M.H. **Ralphs**, 1992. Plant toxins and palatability to herbivores. *Journal of Range Management* **45(1)**: 13–18.
- Muzquiz**, M. & C. **de la Cuadra**, 1988. Anti-germinating capacity of *Lupinus* (L.) alkaloids. Í: *Proceedings, 5th International Lupin Conference* (ritstj. T. Twardowski). PWRiL, Poznan, Poland: 1447–1450.
- Muzquiz**, M., C. **Cuadrado**, G. **Ayet**, C. **Dela-cuadra**, C. **Burbano** & A. **Osagie**, 1994. Variation of alkaloid components of lupin seeds in 49 genotypes of *Lupinus albus* L. from different countries and locations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **42**: 1447–1450.
- Ólafur **Guðmundsson** & Sveinn **Runólfsson**, 1988. Autumn grazing of finishing lambs on annual lupine (*Lupinus angustifolius*) under subarctic conditions. *Búvísindi* **1**: 45–57.
- Ólafur **Guðmundsson**, Jóhann **Þórsson** & Anna Guðrún **Þórhallsdóttir**, 1994. Sheep grazing on lupine under humid northern conditions. Í: *Proceedings of the 1st Circumpolar Agricultural Conference, Whitehorse, YT, Canada* (ritstj. C.A. Scott Smith). Agriculture Canada, Research Branch, Centre for Land and Biological Resources Research, Ottawa: 17–18.
- Ólafur **Jónsson**, 1938. Belgjurtir, þýðing þeirra og hagnýting í íslenskri jarðrækt (Der Ergebnisse von neunjährigen Versuchen mit Leguminosen). *Ársrit Ræktunarfélags Norðurlands* **35**: 19–134.

- Pastuszewska, B., K. Jach & W. Perkowski**, 1988. The effect of lupin alkaloids on growth performance of rats and chicken. Í: *Proceedings, 5th International Lupin Conference* (ritstj. T. Twardowski). PWRiL, Poznan, Poland: 719–732.
- Priddis, C.R.**, 1983. Capillary gas chromatography of lupin alkaloids. *Journal of Chromatography* **261**: 95–101.
- Samuelsson, G.**, 1982. *Lärebok i farmakognosi*. 2. útg. Svensk Farmaceutisk Tidskrifts Förlag AB, Stockholm: 248 s.
- Shani Mishkinsky, J., A. Goldschmied, B. Joseph, Z. Ahronson & F.G. Sulman**, 1974. Hypoglycaemic effect of *Trigonella foenum graecum* and *Lupinus termis* (Leguminosae) seeds and their major alkaloids in alloxan-diabetic and normal rats. *Archives Internationales de Pharmacodynamie et de Therapie* **210**: 27–37.
- Snorri Baldursson**, 1995. Frjóvgun og fræsetning alaskalúpínu. Í: *Líffræði alaskalúpínu* (*Lupinus nootkatensis*). Vöxtur, fræmyndun, efnainnihald og áhrif sláttar (ritstj. Borgþór Magnússon). *Fjölrit RALA nr 178*: 38–43.
- Stobiecki, M., D. Ciesiotka, M. Peretiatkiewicz & K. Gulewicz**, 1993. Phenolic compounds isolated from bitter lupine seeds and their inhibitory effects on germination and seedling growth of lettuce. *Journal of Chemical Ecology* **19(2)**: 325–338.
- Takagi, K., T. Suzuki, & Y. Saito**, 1994. Toxic alkaloid contents in lupin seed (*Lupinus angustifolius*). *Journal of the Food Hygienic Society of Japan* **35**: 397–403.
- Tyski, S., M. Markiewicz, K. Gulewicz & T. Twardowski**, 1988. The analysis of selected lupine alkaloids and ethanol extract of lupine seeds as potential bacteriostatic agents. Í: *Proceedings, 5th International Lupin Conference* (ritstj. T. Twardowski). PWRiL, Poznan, Poland: 540.
- Waller, G.R. & E.K. Nowacki**, 1978. *Alkaloid Biology and Metabolism in Plants*. Plenum Press, New York: 294.
- Williams, M., R.F. Barnes & J.M. Cassady**, 1971. Characterization of alkaloids in palatable and unpalatable clones of *Phalaris arundinacea* L. *Crop Science* **11**: 213–217.
- Williams, W.**, 1984. Lupins in crop production. *Outlook on Agriculture* **13(2)**: 69–76.
- Wink, M.**, 1983. Wounding-induced increase of quinolizidine alkaloid accumulation in Lupin leaves. *Zeitschrift für Naturforschung* **38**: 905–909.
- Wink, M.**, 1984. Chemical defence of Leguminosae. Are quinolizidine alkaloids part of the antimicrobial defence system of lupins? *Zeitschrift für Naturforschung* **39**: 548–552.
- Wink, M.**, 1992. The role of quinolizidine alkaloids in plant-insect interaction. Í: *Insect-Plant Interactions*, 4. bindi (ritstj. E. Bernays). CRC Press, Boca Raton: 131–166.
- Wink, M.**, 1993a. The plant vacuole – a multifunctional compartment. *Journal of Experimental Botany* **44(Jan. Suppl.)**: 231–246.
- Wink, M.**, 1993b. Quinolizidine alkaloids. Í: *Methods in Plant Biochemistry*, vol. 8 (ritstj. P.G. Waterman). Academic Press, London: 197–239.
- Wink, M.**, 1994. Biological activities and potential application of lupin alkaloids. Í: *Advances in Lupin Research* (ritstj. J.M. Neves Martins & M.L. Beirao da Costa). ISA Press, Lisboa Codex: 161–178.
- Wink, M. & D.B. Carey**, 1994. Variability of quinolizidine alkaloid profiles of *Lupinus argenteus* (Fabaceae) from North-America. *Biochemical Systematics and Ecology* **22**: 663–669.
- Wink, M. & T. Hartmann**, 1981. Activation of chloroplast-localized enzymes of quinolizidine alkaloid biosynthesis by reduced thioredoxin. *Plant Cell Reports* **1**: 6–9.
- Wink, M. & T. Hartmann**, 1982a. Diurnal fluctuation of quinolizidine alkaloid accumulation in legume plant and photomixotrophic cell suspension cultures. *Zeitschrift für Naturforschung* **37**: 369–375.
- Wink, M. & T. Hartmann**, 1982b. Localization of the enzymes of quinolizidine alkaloid biosynthesis in leaf chloroplast of *Lupinus polyphyllus*. *Plant Physiology* **70**: 74–77.
- Wink, M. & T. Hartmann & L. Witte**, 1980. Biotransformation of cadaverin and potential intermediates of lupanine biosynthesis by plant cell suspension cultures. *Planta Medica* **40**: 31–39.
- Wink, M., C. Meissner & L. Witte**, 1995. Patterns of quinolizidine alkaloids in 56 species of the genus *Lupinus*. *Phytochemistry* **38**: 139–153.
- Wink, M., H.M. Schiebel & T. Hartmann**, 1982c. Quinolizidine alkaloids from cell suspension cultures and plants. Ester-alkaloids of *Lupinus polyphyllus*. *Planta Medica* **44**: 15–20.

- Wink, M. & L. Witte**, 1983. Evidence for a wide-spread occurrence of the genes of quinolizidine alkaloid biosynthesis. Induction of alkaloid accumulation in cell suspension cultures of alkaloid-“free” species. *FEBS Letters* **159**: 196–200.
- Wink, M. & L. Witte**, 1984. Turnover and transport of quinolizidine alkaloids. Diurnal fluctuations of lupanine in the pholem sap, leaves and fruits of *Lupinus albus* L. *Planta* **161**: 519–524.
- Yannai, S.**, 1990. Toxicants occurring naturally in lupine seeds. Í: *Lupin Production and Bio-processing for Feed, Food and other By-products. Proceedings of the Joint CEC-NCRD Workshop Held in Israel (Ginozar Kibbutz) in January 1989* (ritstj. Y. Birk, A. Dovrat, M. Waldman & C. Uzureau). EEC, Brussels: 179–183.
- Þorsteinn **Sæmundsson**, 1994. *Almanak fyrir Ísland 1995*. 159. árg. Háskóli Íslands, Reykjavík: 159 s.
- Handrit móttakið 18. mars 1997,
samþykkt 24. maí 1997.