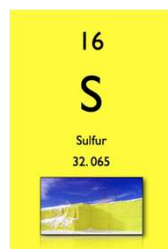


Proč hnojit sírou?

doc. Ing. Pavel Ryant, Ph.D.

9. listopadu 2019

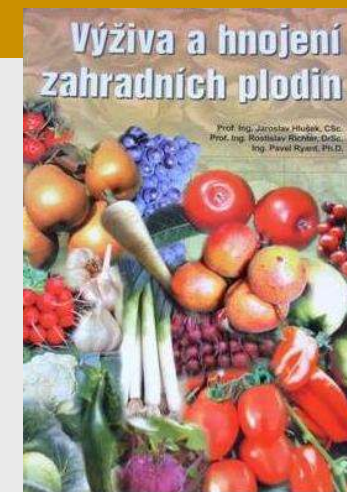


1919 Slavíme
2019 století
MENDELU
Agronomická
fakulta

1

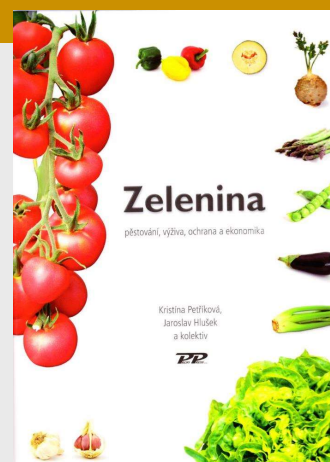
Hlušek, J.
– Richter, R. – Ryant, P.:

Výživa a hnojení
zahradních plodin



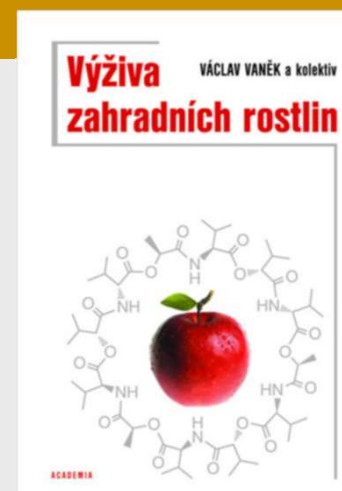
2

Petříková K., Hlušek, J.
a kol.



3

Vaněk V.
a kol.



4

Osnova přednášky



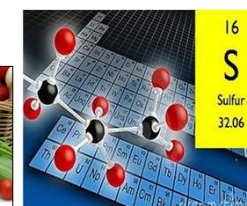
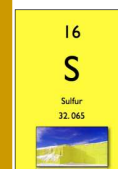
1. Síra – znovuobjevená rostlinná živina
 - změny v obsahu S v půdě
 - vizuální příznaky nedostatku S
2. Síra – esenciální v metabolismu rostlin
3. Síra – faktor výnosu
4. Síra – faktor kvality
5. Síra v hnojivech

1919 Slavíme
2019 století

● MENDELU
● Agronomická
● fakulta

5

Síra – znovuobjevená rostlinná živina



6

Lesní porosty Jizerských hor zasažené kyselými dešti – 80. léta 20. století



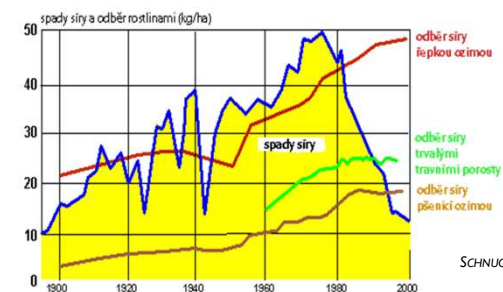
www.cs.wikipedia.org

1919 Slavíme
2019 století

● MENDELU
● Agronomická
● fakulta

7

Vývoj mokré depozice síry a odběru síry rostlinami v Německu v letech 1890–2000

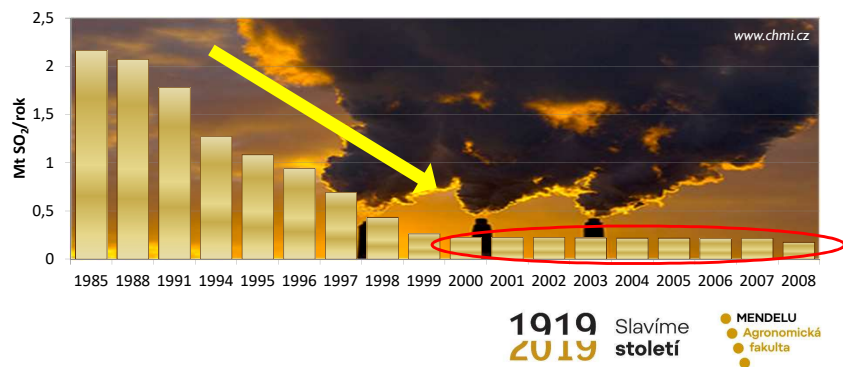


1919 Slavíme
2019 století

● MENDELU
● Agronomická
● fakulta

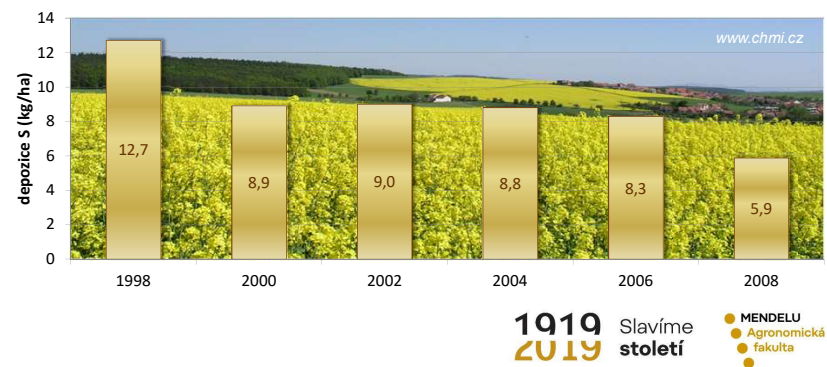
8

Vývoj emisí SO₂ ze stacionárních zdrojů (REZZO 1-3) v ČR



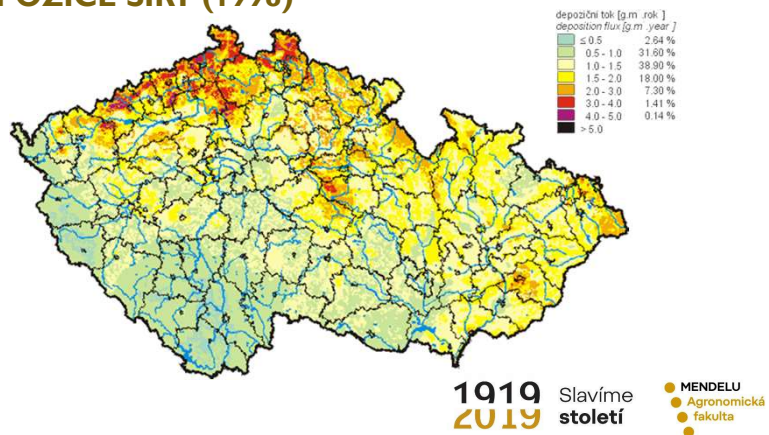
9

Vývoj celkových depozic síry v ČR po roce 1998



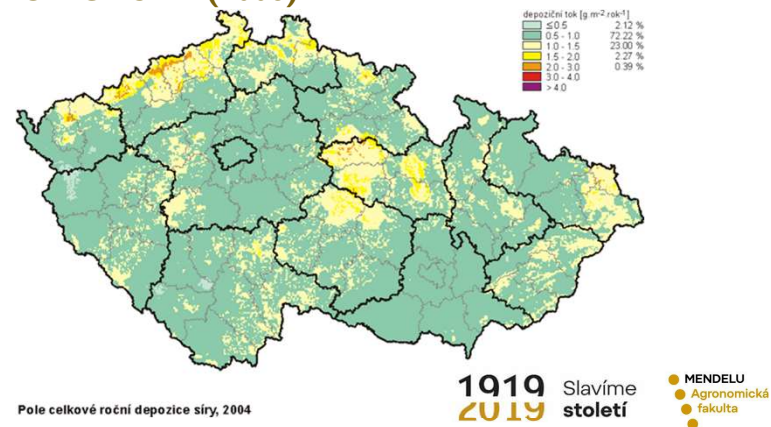
10

DEPOZICE SÍRY (1998)

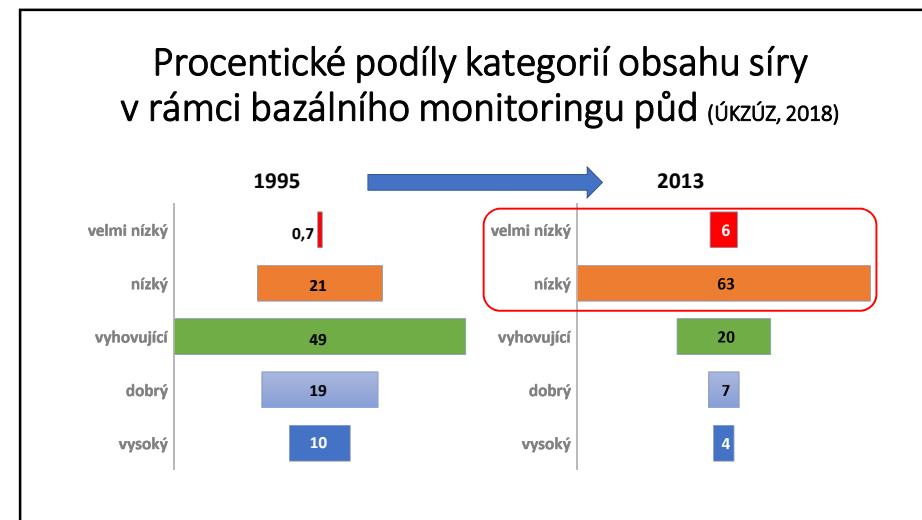


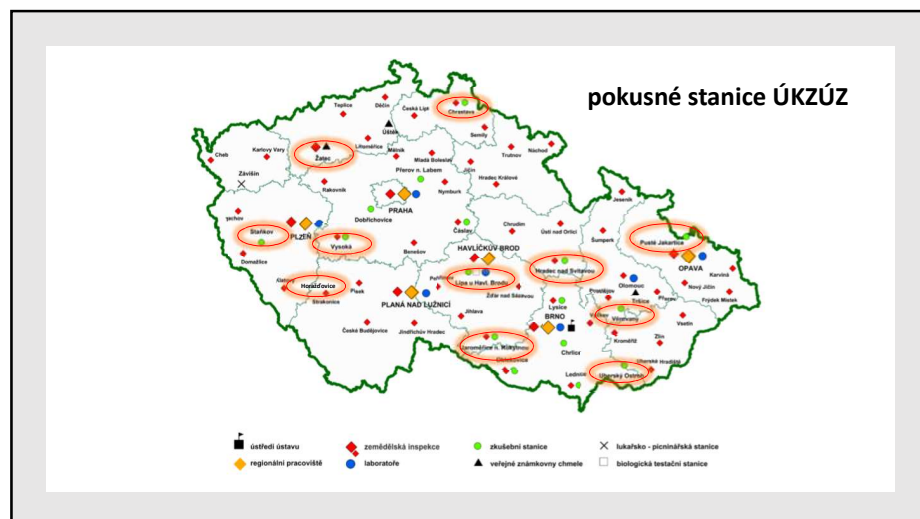
11

DEPOZICE SÍRY (2008)



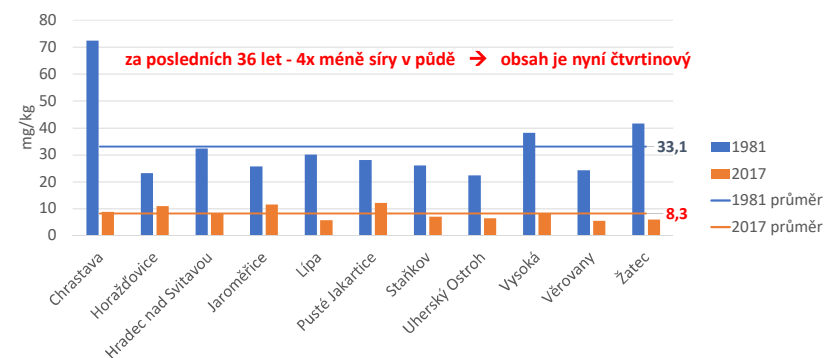
12





17

Změny v obsahu síry (Mehlich 3) na pokusných stanicích ÚKZÚZ



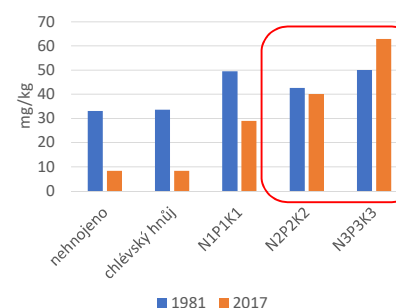
18

Kritéria hodnocení obsahu síry ve výluhu půdy Mehlich III

S (mg/kg)	Kategorie obsahu
< 10	Velmi nízký
11-20	Nízký
21-30	Vyhovující
31-40	Dobrý
> 40	Vysoký

19

Obsah síry v půdě (Mehlich 3) v dlouhodobých výživářských pokusech ÚKZÚZ



Dávky živin v minerálních hnojivech

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
N1P1K1	58	51	65
N2P2K2	88	78	103
N3P3K3	116	114	151

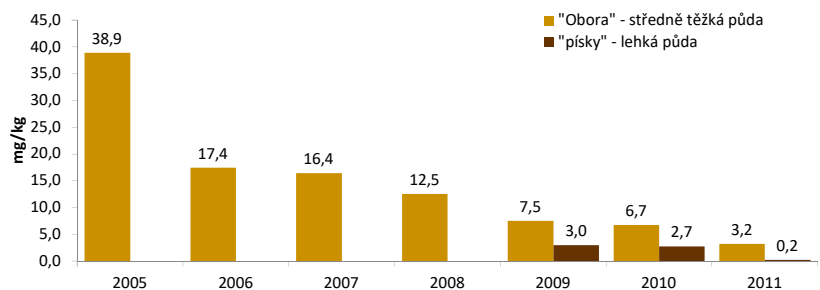
Dusík byl při přípravě půdy aplikován v síranu amonném, k přihnojení byl použit ledek amonný s vápencem.

Zdrojem fosforu je granulovaný superfosfát, draslík je dodáván ve formě draselné soli.

Chlévkový hnůj se aplikoval v množství 40 t/ha dvakrát za osevní postup k okopaninám.

20

Obsah $S_{\text{vodor.}}$ v půdě - Žabčice



1919 Slavíme století
MENDELU
Agronomická fakulta

21

Vizuální příznaky nedostatku síry u rostlin



1919 Slavíme století
MENDELU
Agronomická fakulta

22

Riziko deficitu síry

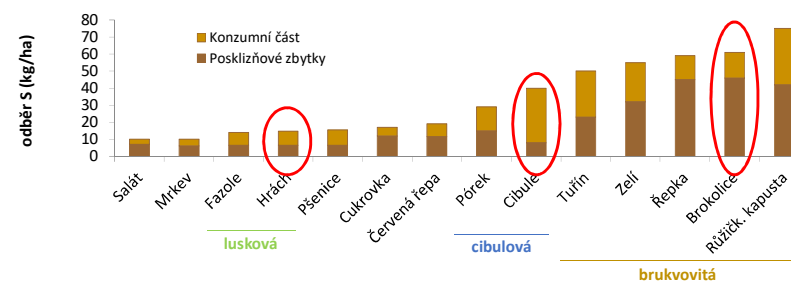
Černý, 2018

Ukazatel	Riziko deficitu S			
	Nízké			Vysoké
Půdní druh (suchá půda)			lehká	střední
Půdní druh (větší srážky)	těžká			lehká
Obsah organické hmoty	vysoký			nízký
Roční srážkový úhrn	< 400 mm	550 mm	600 mm	> 750 mm
Obsah $S_{\text{vodor.}}$ v ornici	> 15 mg/kg			< 5 mg/kg
Aplikace stájových hnojiv, kalů	ano			ne
Posklizňové zbytky předplodiny	cukrovka, řepka, ...	slunečnice, luskoviny	kukuřice...	obilniny
PH	> 6,5			< 5,0

1919 Slavíme století
MENDELU
Agronomická fakulta

23

Odběr a distribuce síry u různých plodin



ZHAO et al., 2003

1919 Slavíme století
MENDELU
Agronomická fakulta

24

Symptomy deficitu síry a dusíku u ječmene

nedostatek síry



www.fertiva.com

nedostatek dusíku

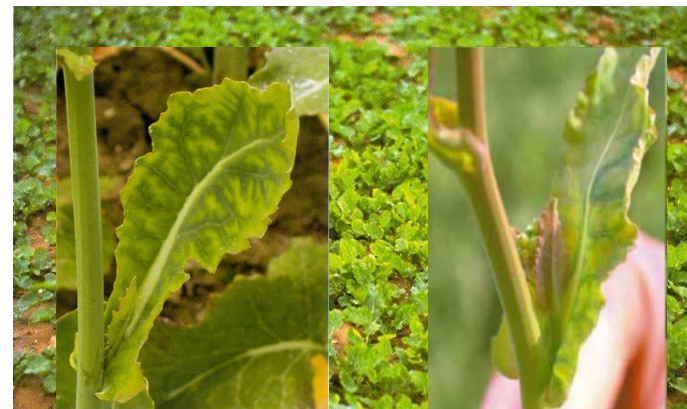


1919 Slavíme
2019 století

● MENDELU
● Agronomická
● fakulta

25

Symptomy deficitu síry u řepky ozimé - Německo

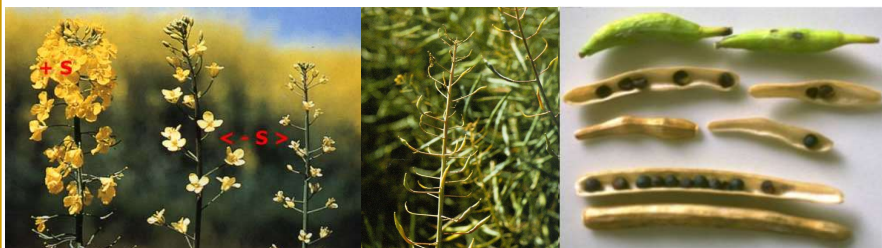


Haneklaus et al., 2004, 2008

● MENDELU
● Agronomická
● fakulta

26

Příznaky nedostatku síry na květech a šeslích



Haneklaus et al., 2008

1919 Slavíme
2019 století

● MENDELU
● Agronomická
● fakulta

27

Vybělování květů způsobené deficitem síry



HANEKLAUS et al., 2004

1919 Slavíme
2019 století

● MENDELU
● Agronomická
● fakulta

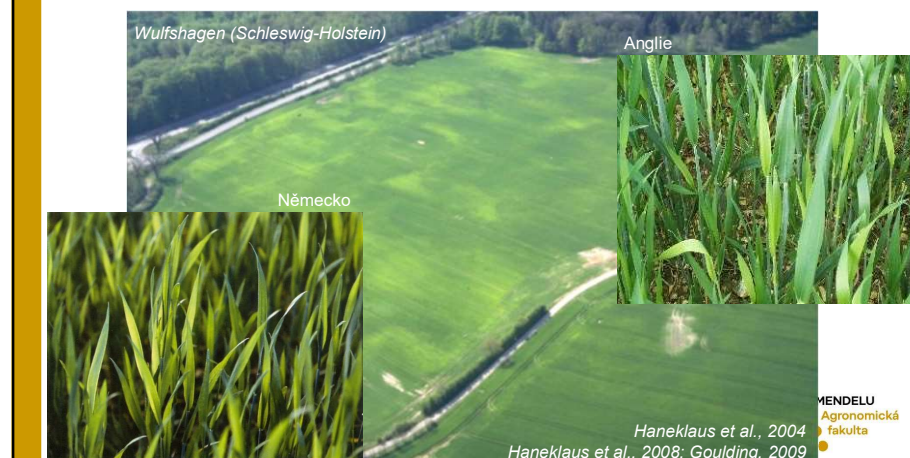
28

Deficit síry u řepky v polních podmínkách



29

Nedostatek síry u pšenice ozimé v severním Německu



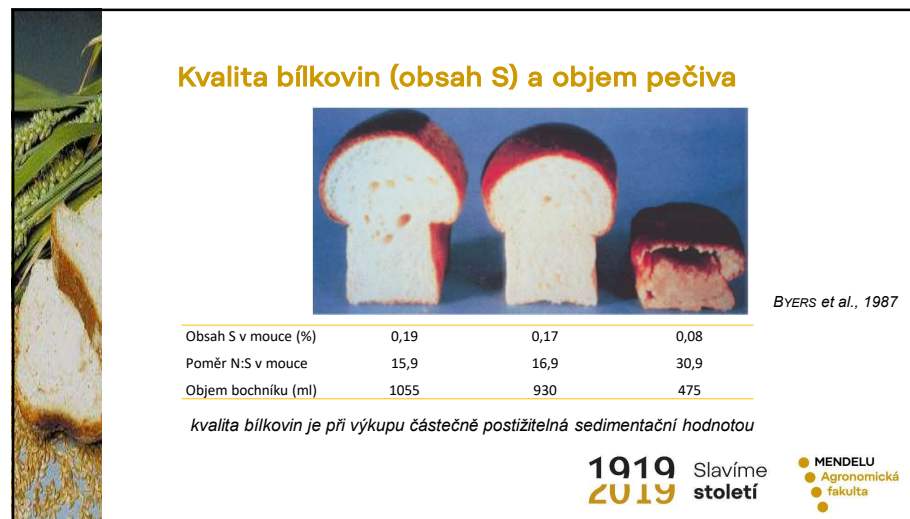
30

Redukce zrn v klasu pšenice ozimé při deficitu síry



31

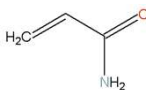
Kvalita bílkovin (obsah S) a objem pečiva



32

Síra a obsah akrylamidu v pečivu

- **akrylamid** – popsán 2002
 - karcinogenní, neurotoxický
 - vzniká tzv. Maillardovou reakcí z cukrů při tepelné úpravě
 - uhlík a dusík v aminoskupině pochází z asparaginu
- **nedostatek síry**
 - zvýšená produkce asparaginu, argininu, glutaminu
 - AMK s nižší nutriční hodnotou
 - sírou deficitní stanoviště
 - mouka obsahuje **až 30x více asparaginu**
 - pečivo **až 6,3x více akrylamidů**



→ kůrka pečiva tmavší a krupavější

MUTTUCUMARU et al. 2006;
MOTTRAM et FRIEDMAN, 2008

1919 Slavíme
2019 století
MENDELU
Agronomická
fakulta

33

Vliv hnojení ozimé pšenice sírou na kvalitu chleba



www.fertiva.com

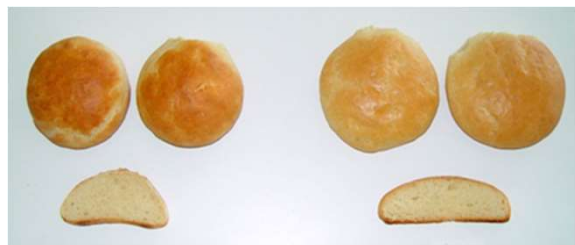
sírou nehnojeno
- silné zhnědnutí
- malý objem bochníku

síra aplikována v DASA
- optimální zhnědnutí
- dostatečný objem bochníku

1919 Slavíme
2019 století
MENDELU
Agronomická
fakulta

34

Barva kůrky chleba při různých hladinách sirné výživy



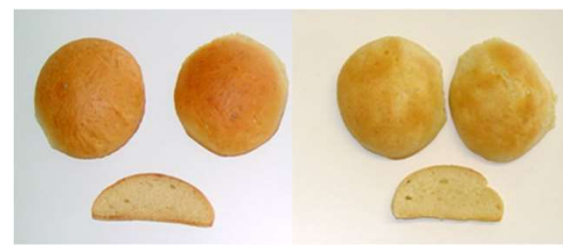
Hřivna, 2010

0 (LAV) **75 (DASA)**
dávka S (kg/ha)

1919 Slavíme
2019 století
MENDELU
Agronomická
fakulta

35

Barva kůrky chleba při různých hladinách sirné výživy



Hřivna, 2010

0 (LAV + DAM) **47 (DASA + SAM)**
dávka S (kg/ha)

1919 Slavíme
2019 století
MENDELU
Agronomická
fakulta

36

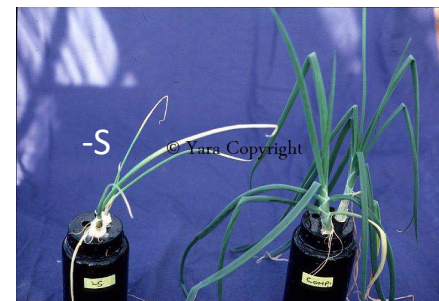
Deficit síry u zelí



1919 2019 Slavíme století
MENDELU
Agronomická
fakulta

37

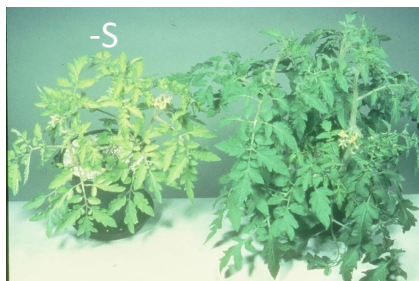
Deficit síry u cibule



1919 2019 Slavíme století
MENDELU
Agronomická
fakulta

38

Deficit síry u rajčat



1919 2019 Slavíme století
MENDELU
Agronomická
fakulta

39

Comparing a complete fertilized plant with sulfur deficiency

Brian E. Whipker



1919 2019 Slavíme století
MENDELU
Agronomická
fakulta

40

Deficity síry

Sulphur deficiency in banana



Sulphur deficiency in grass grown in the greenhouse



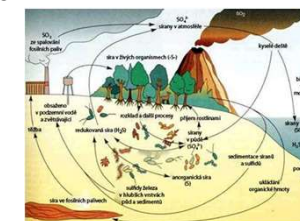
1919 Slavíme
2019 století

● MENDELU
● Agronomická
● fakulta

41

Zdroje síry pro agroekosystémy

- atmosférické depozice → velmi omezeně
- mineralizace organické hmoty v půdě
- stájová hnojiva
- mořský aerosol – v ČR ne



1919 Slavíme
2019 století

● MENDELU
● Agronomická
● fakulta

42

Statková hnojiva jako zdroj síry

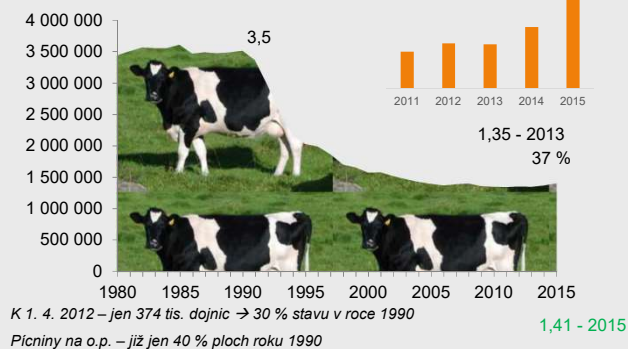
- statková hnojiva
 - chlévský hnůj - 0,09 - 0,12 % S
 - kejda - 0,04 - 0,05 % S



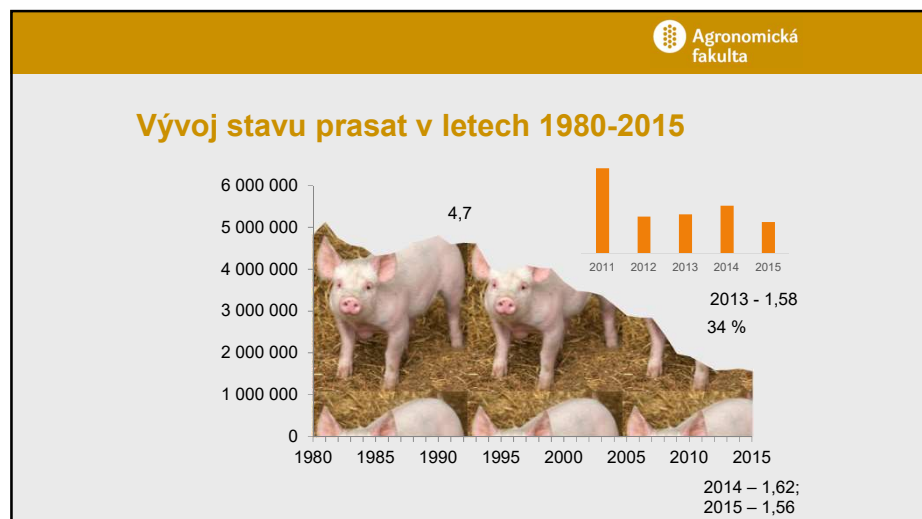
43

Agronomická
fakulta

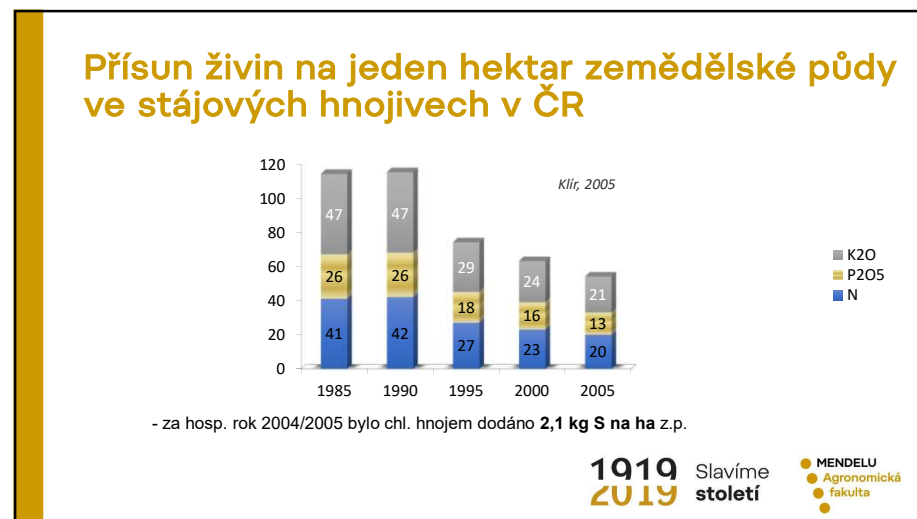
Vývoj stavu skotu v letech 1980-2015



44



45



46

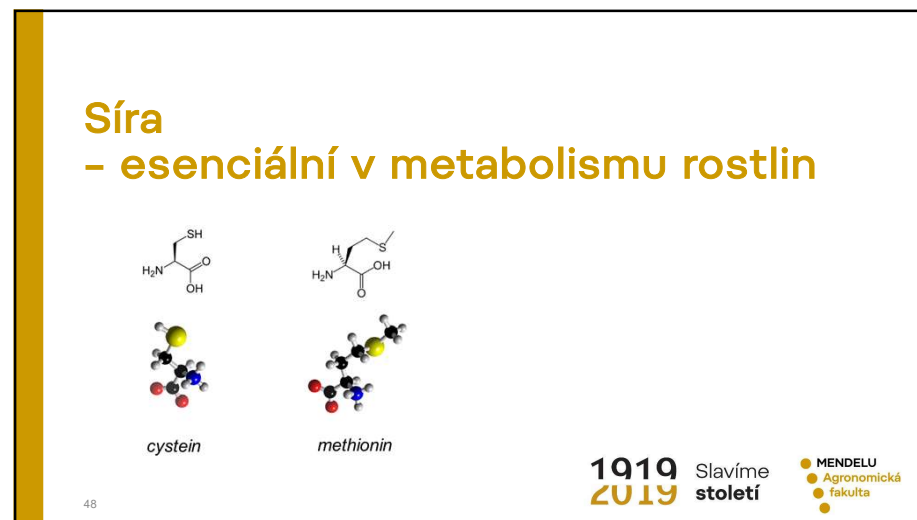
Organický materiál	Poměr C:S	Uvolnitelnost síry z organických hmot
Čistírenský kal		
surový	20	síra pomalu uvolňována
po digesti	35	
Chlévský hnůj		
koňský	494	
drůbeží	518	
skotu	719	síra pomalu uvolňována
prasat	735	
Rostlinný materiál		
vojtěška	310	
sójové zbytky	498	
stébla kukuřice	2 029	
piliny	11 011	

TABATABAI et CHAE, 1991

1919 Slavíme století

MEDELU Agronomická fakulta

47



48

Síra – esenciální živina

- esenciální pro všechny formy života
- pouze rostliny, bakterie a houby
 - asimilace anorganického síranu
 - redukcí na sulfid a zabudování do sírných aminokyselin
- lidé a zvířata
 - závislí na zajištění redukované síry v cysteinu nebo methioninu v potravě
- 0,2 – 0,5 % sušiny rostlin
 - srovnatelné s obsahem fosforu
 - významem často řazena za dusík

NSPK



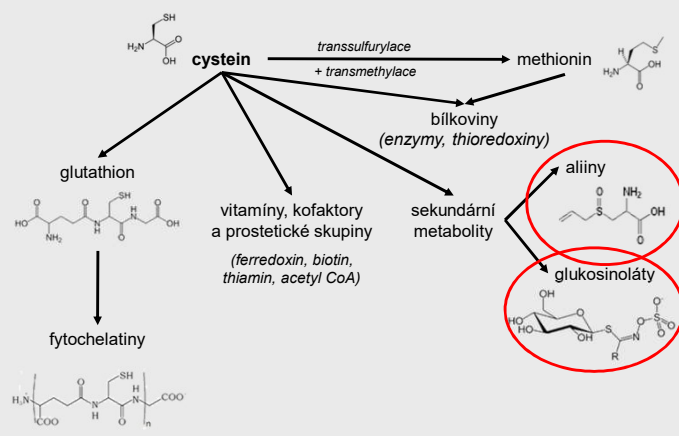
49

Vodorozpustná síra v půdě – především sírany – přístupná forma pro rostliny



50

Schéma asimilace síry rostlinou



51

Nároky zelenin na síru

		Výnos (t.ha ⁻¹)	Odběr S v kg	
			na výnos z 1 ha	na 1 t produktu
Listová:	salát	30	15	0,50
	špenát	25	10	0,40
Košťálová:	zelí	70	80	1,15
	květák	50	30	0,60
	kedlubny	20	30	1,50
Plodová:	okurky	40	10	0,25
	rajčata	50	30	0,60
	paprika	30	25	0,85
	tykve	50	20	0,40
	cukety	80	20	0,25
Kořenová:	mrkev	30	10	0,33
	petržel	20	10	0,50
	celer	30	15	0,50
	ředkvička	15	20	1,33
Cibulová:	cibule	40	30	0,80

52

Síra – faktor výnosu



53

1919 Slavíme
2019 století

● MENDEL
● Agronomická
● fakulta

Výnosový efekt síry

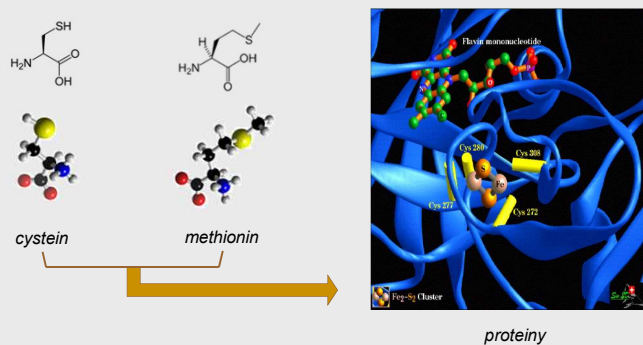
- **primární**
 - přímé působení síry na výnos
 - síra – součástí aminokyselin → proteinů
 - síra – složka enzymů, resp. kofaktorů (metaloproteiny)
- **sekundární**
 - nepřímé působení síry na výnos
 - síra – podporuje rezistenci rostlin proti environmentálnímu stresu (xenobiotika, choroby)

54

Síra – stavební součást bílkovin

součást aminokyselin a bílkovin (síra tak zvyšuje množství biomasy)

- součást aminokyselin (cystein a methionin), resp. proteinů (až 70 % celkové S)

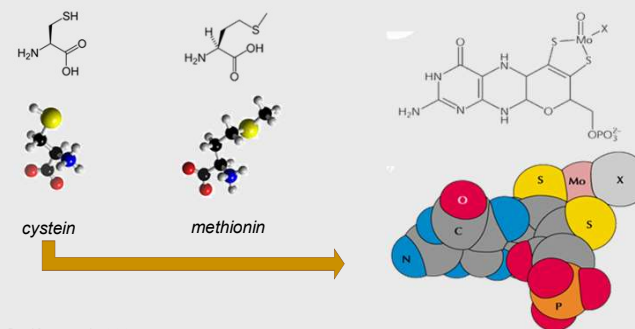


55

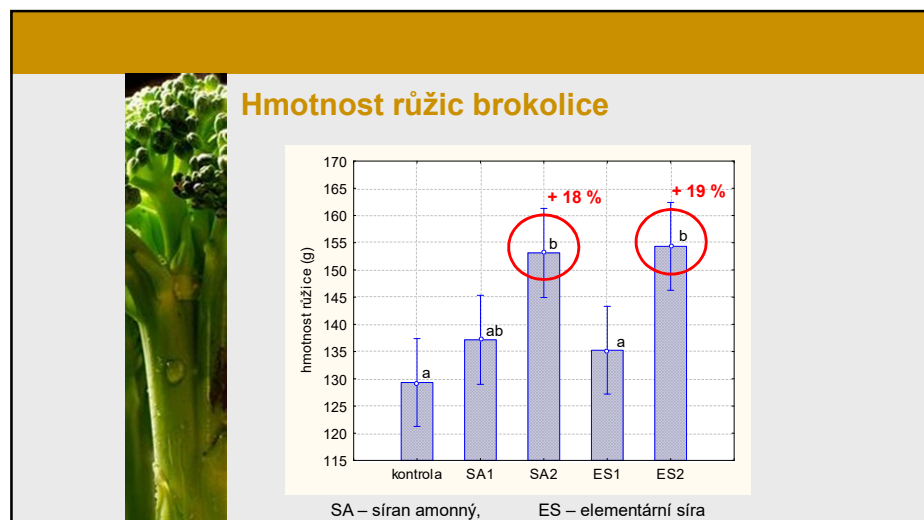
Síra – složka enzymů

součást nitrátreduktázy (síra tak zlepšuje využití přijatého dusičnanového dusíku)

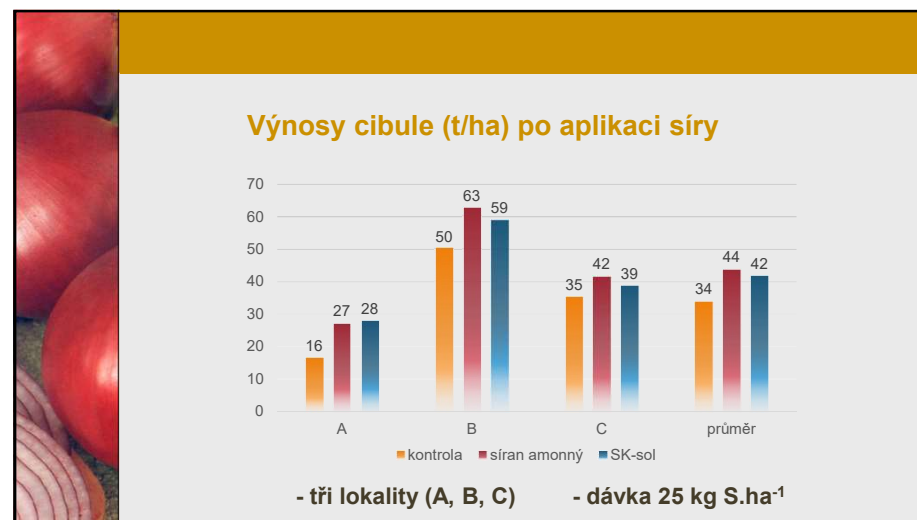
- cystein tvoří **metaloproteiny** – např. molybdenový kofaktor nitrátreduktázy



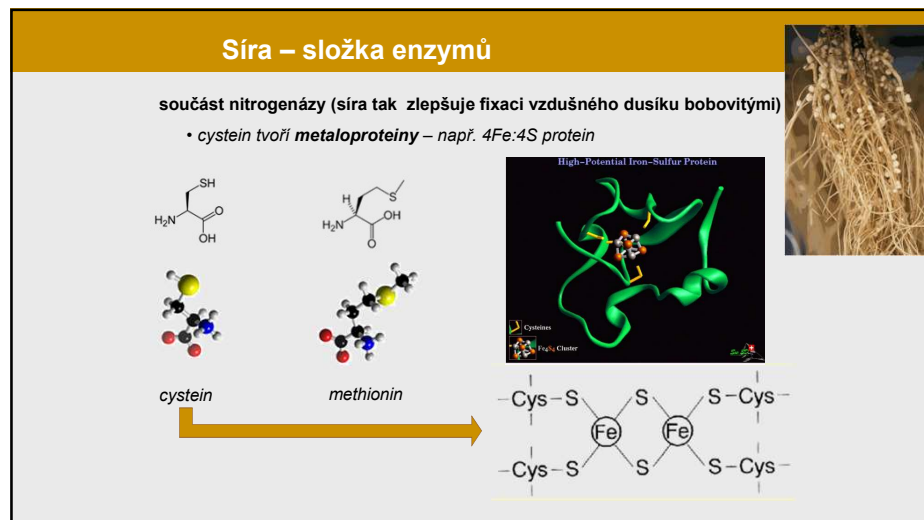
56



57



58



59



60

Nárůst výnosu po aplikaci síry v polních pokusech Indie

plodina	počet studií	výnos bez aplikace S	výnosová reakce na aplikaci S			
			rozpětí kg/ha	průměr	rozpětí %	průměr
pšenice	32	3209	150-2120	813	4,5-109,5	25,3
rýže	27	4389	56-1720	752	0,7-39,5	17,1
podzemnice olejná	23	1785	133-1480	566	8,2-106,6	31,7
řepka/hořčice	18	1122	83-839	335	10,1-92,8	30,0
sója	8	1426	202-698	361	14,2-35,6	25,3
slunečnice	6	1233	70-410	249	5,8-29,7	20,2
brambory	3	14567	1661-4281	3080	8,1-63,9	21,1
cibule	3	2480	80-1210	480	2,0-41,0	19,0

Tandon, 1991

61

Výnosový efekt síry

• primární

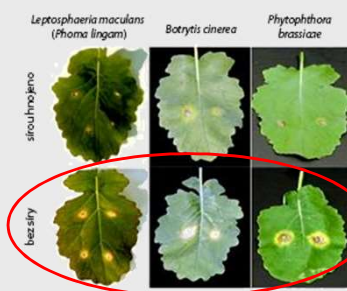
- přímé působení síry na výnos
- síra – součástí aminokyselin → proteinů
- síra - složka enzymů, resp. kofaktorů (metaloproteiny)

• sekundární

- nepřímé působení síry na výnos
- síra – podporuje rezistenci rostlin proti environmentálnímu stresu (xenobiotika, choroby)
 - tvorba aliinů, glukosinolátů, fytoalexinů, H_2S , siřné peptidy a proteiny (defensiny, thioniny) a cíleně lokalizované elementární síry

62

Vliv síry na rezistenci řepky proti chorobám



L. maculans: symptomy 21 dpi
B. cinerea: symptomy 4 dpi
P. brassicae: symptomy 7 dpi

dpi = dnů po infekci

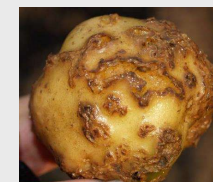
DUBUIS et al., 2005

63

Vliv síry na napadení houbovými chorobami

Dávka S (kg.ha ⁻¹)	Forma S	Půdní reakce	Výnos hlíz (t.ha ⁻¹)	Míra napadení (%)	
				<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Streptomyces scabies</i>
0	bez síry	5,9	23,9	33,3	47,1
25	SO ₄ ²⁻	5,8	20,2	32,8	43,3
25	S ⁰	5,4	20,7	26,2	28,9
50	SO ₄ ²⁻	5,8	26,2	25,2	52,3
50	S ⁰	5,3	27,0	19,7	43,3

Klikocka et al., 2004



64

Síra – faktor kvality



65

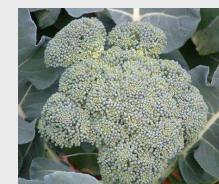
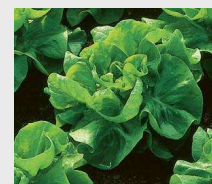
1919 Slavíme
2019 století

● MENDELU
● Agronomická
● fakulta

Síra a koncentrace nitrátů

- deficit síry

→ zvýšení koncentrace nitrátů



66

Zvýšení obsahu nitrátů při deficitu S – důvody:

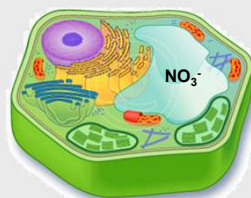
1. síra součástí aminokyselin (cys, met) → bílkovin
 - **nedostatek síry**
 - nižší využití dusíku
 - dusík zůstává v nebičkovinné formě, hromadí se volné AMK včetně kumulace **nitrátů**



cystein



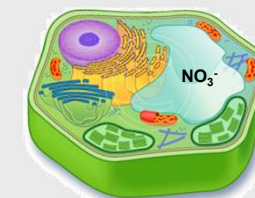
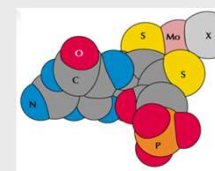
methionin



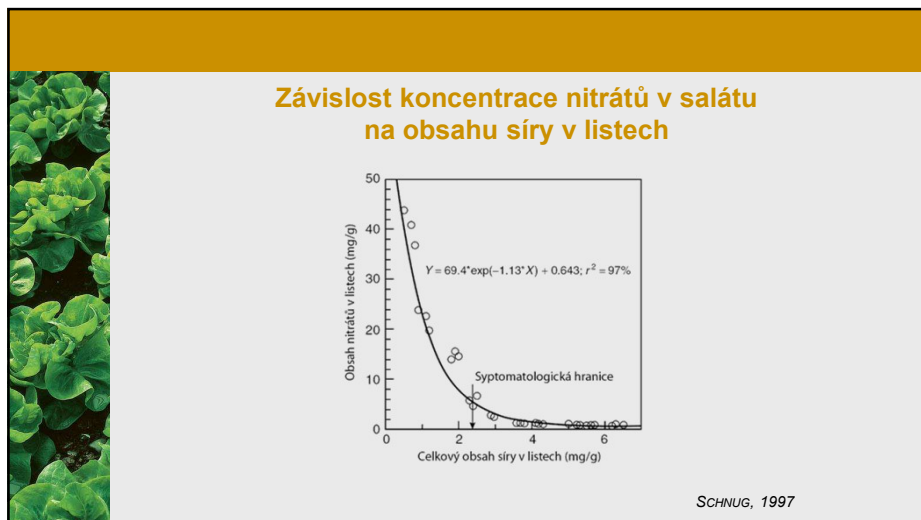
67

Zvýšení obsahu nitrátů při deficitu S – důvody:

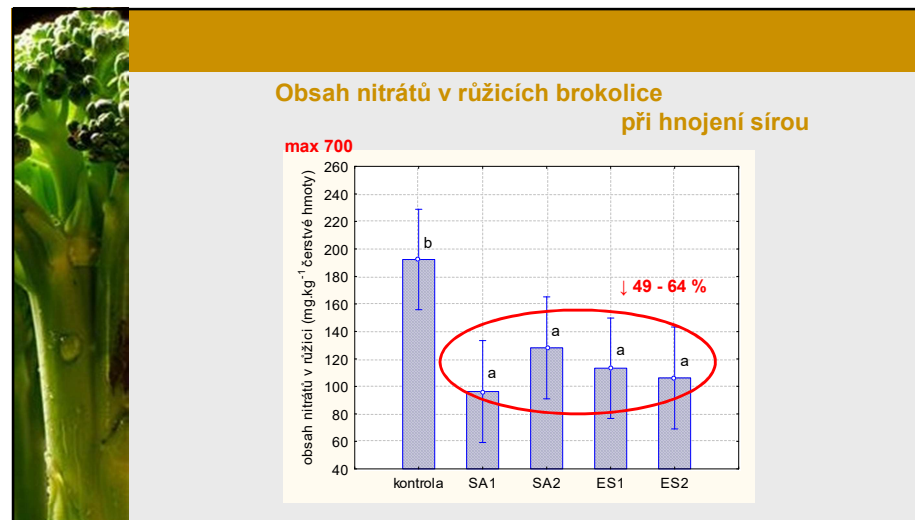
2. síra součástí nitrátoreduktázy (molybdenového kofaktoru)
 - **nedostatek síry**
 - dusík zůstává kumulovaný ve vakuolách ve formě **nitrátů**



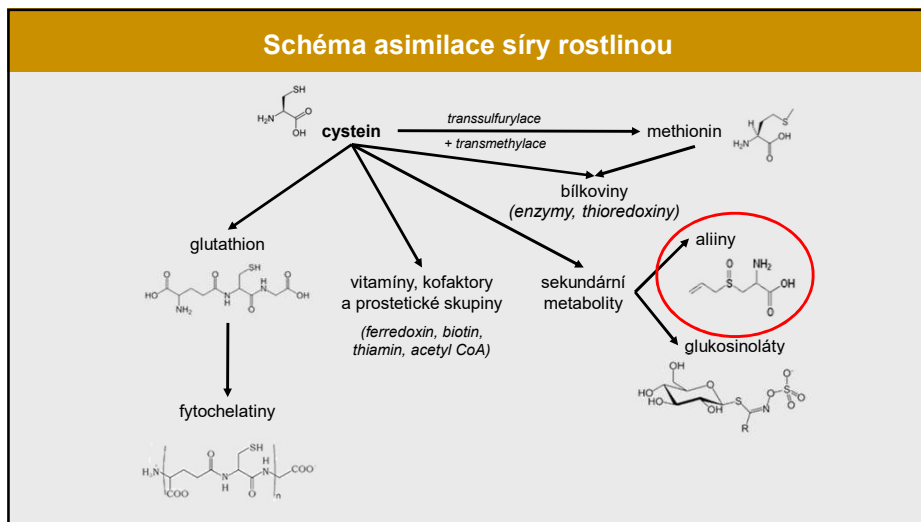
68



69



70



71

Cibulová zelenina

Alliin

NC(C(=O)O)SCC(=O)SC

• **specifická vůně** rostlin rodu *Allium* vzniká po hydrolýze cystein sulfoxidů enzymem alliinázou na pyruvát, čpavek a sirné volatilní látky

• nedotčené buňky

- alliin a příbuzné cystein sulfoxidy - v cytoplazmě
- enzymy alliinázy ve vakuolách

• porušením buněk → uvolnění enzymů
→ postupná eliminace sulfoxidů až na volatilní a vonné nízkomolekulární sirné organické látky

72

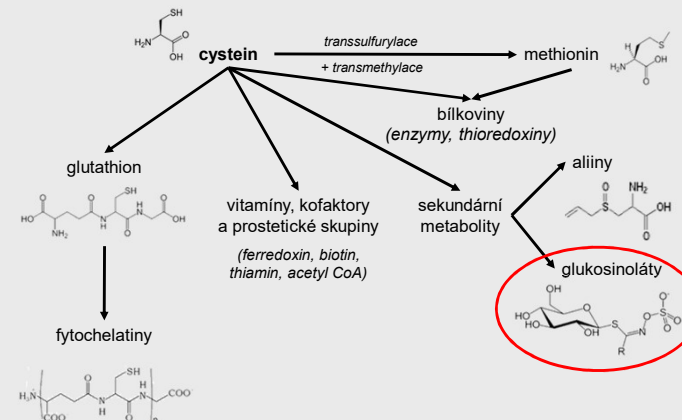
Bioaktivní sírné látky a jejich zdravotní působení

Rostlina	S-obsahující komponenty	Využití/vlastnosti
Křen (<i>Armoracia rusticana</i> L.)	glukosinoláty (do 0,32 %): sinigrin, gluconasturtiin (phenylethyl (15 %) a allyl (90 %) isothikyanathan)	artitida (záněty kloubů), kůže, infekce močových cest, chřipka
Lichořeřišnice (<i>Tropaeolum majus</i> L.)	glukotropaeolin (benzyl isothiocyanát)	záněty průdušek (bronchitis), infekce močových cest, antimikrobiální
Česnek (<i>Allium sativum</i> L.)	alliin (nad 0,3 %), alicin, scordinin, agens	arterioskleróza, vysoký krevní tlak, baktericidní
Cibule (<i>Allium cepa</i> L.)	isoalliin, cycloalliin, thiosulfínát, sulfinyldisulfid	podpora trávení, proti chudokrevnosti, popáleniny (bodnutí včely, vosy), astma
Chřest (<i>Asparagus officinalis</i> L.)	kyselina asparagová, glutathion	detoxikace jater, ledvin, cév, močopudný, protirakovinný
Brokolice (<i>Brassica oleracea</i> L.)	sulforafan	antikarcinogenní účinky
Hořčice (<i>Brassica nigra</i> L.)	sinigrin	podráždění kůže, vnější přikládání k povzbuzení prokrvení
Zeli (<i>Brassica oleracea</i> L.)	glukosinoláty (do 0,16 %): sinigrin, glukobrassicin, glukoiberin, glukoraphanin	žaludeční vředy, abscesy, hojení ran

Paulsen, 2001

73

Schéma asimilace síry rostlinou



74

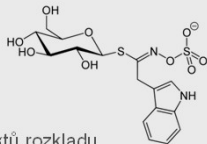
Glukosinoláty

• v minulosti

- spojení takřka výhradně s toxickými účinky produktů rozkladu (u hosp. zvířat krmnými řepkovými šroty)

• dnes

- v popředí zájmu – antioxidantní a antikarcinogenní účinky produktů rozkladu (např. isothiocyanáty, indoly)

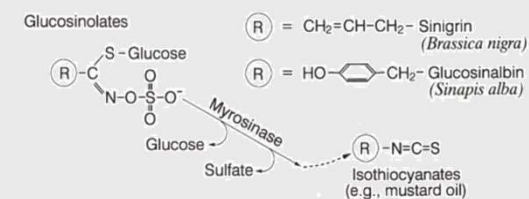


75

Síra a produkce bioaktivních látek

• brukvovitá zelenina

- glukosinoláty
→ rozklad myrosinázou → isothiocyanáty



76

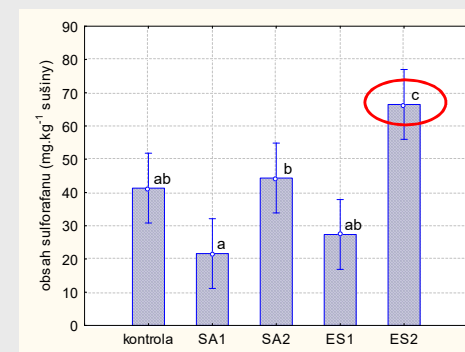
Bioaktivní sírné látky a jejich zdravotní působení

Rostlina	S-obsahující komponenty	Využití/vlastnosti
Křen (<i>Armoracia rusticana</i> L.)	glukosinoláty (do 0,32 %): sinigrin, gluconasturtiin (phenylethyl (15 %) a allyl (90 %) isothikyanathan)	artitis (záněty kloubů), kuděje, infekce močových cest, chřipka
Lichořeřišnice (<i>Tropaeolum majus</i> L.)	glukotropaeolin (benzyl isothiocyant)	záněty průdušek (bronchitis), infekce močových cest, antimikrobiální
Česnek (<i>Allium sativum</i> L.)	alliin (nad 0,3 %), alicin, scordinin, agens	arterioskleróza, vysoký krevní tlak, baktericidní
Cibule (<i>Allium cepa</i> L.)	isoalliin, cycloalliin, thiosulfínát, sulfynyldisulfid	podpora trávení, proti chudokrevnosti, popáleniny (bodnutí včely, vosy), astma
Chřest (<i>Asparagus officinalis</i> L.)	kyselina asparagová, glutathion	detoxikace jater, ledvin, cév, močopudný, protirakovinný
Brokolice (<i>Brassica oleracea</i> L.)	sulforafan	antikarcinogenní účinky
Hořčice (<i>Brassica nigra</i> L.)	sinigrin	podráždění kůže, vnější přikládání k povzbuzení prokrvení
Zelí (<i>Brassica oleracea</i> L.)	glukosinoláty (do 0,16 %): sinigrin, glukobrassicin, glukoiberin, glukoraphanin	žaludeční vředy, abscesy, hojení ran

Paulsen, 2001

77

Obsah sulforafanu v sušině růžic brokolice



literatura - min 0,6 g na rostlinu pro zvýšení hladiny GSL

78

Síra v hnojivech



1919 Slavíme
2019 století

MEDELU
Agronomická
fakulta

79

Obsah síry ve vybraných hnojivech

Hnojivo	Obsah síry (%)
Síran amonný	24
DASA (dusičnan a síran amonný)	13
Superfosfát jednoduchý	11
Síran draselný	18
Hořká sůl	13
Kieserit	20-21
Patentkali	17
Kornkali	4
Sádrovec (Pregips H)	14
LAS 24-6	6
SAM 240	5
SK sol	17
Elementární síra	80-100
Elementární síra s bentonitem	90

80

Sírná hnojiva

- z dusíkatých
 - SA (24 %), DASA (13 %), SAM (8 %), LAS (6 %)
- z fosforečných
 - superfosfát jednoduchý (11 %)
- z draselných
 - SD (18 %)
- z vápenatých
 - síran vápenatý (sádra) – 14 %
- z hořečnatých
 - HS (13 %)

81

Síran amonný

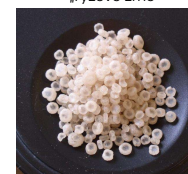
- tradiční hnojivo
- vedlejší produkt z výroby
 - koksu
 - kaprolaktamu (> 70 % produkce)

síran amonný
– krystalický



82

síran amonný
– „rýžové zrno“



1919
2019

Slavíme
století
11/9/2019

● MENDEL
● Agronomická
● fakulta

82

DASA 26/13

- dusičnan amonný se síranem amonným
 $\text{NH}_4\text{NO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
- 26 % N a 13 % S
- Použití:
 - základní hnojení
 - přihnojování většiny plodin
 - speciálně určeno pro plodiny s vysokými nároky na síru
 - řepka, slunečnice, hořčice, zelí, cibule, česnek, pícniny, brambory
- výrobci: Duslo Šála, Lovochemie Lovosice



83

Superfosfát jednoduchý

- 8 % P a 11 % S ve formě sádry
díky výrobě z přírodních fosfátů
pomocí kyseliny sírové



84

Síran draselný

- bílý až nažedlý prášek
- 50 % K_2O , 18 % S
- obsah chlóru nemá překročit 2 %
- použití:
 - k plodinám citlivým na chlór
 - hnojení vinohradů, ovocných dřevin
 - při předsetové přípravě
 - do krátkodobé zásoby při hnojení brambor a zelenin
- granulovaná forma - 40 % K_2O



85

Hořká sůl

- výroba: překrytalizováním kieseritu na síran hořečnatý
- 16,5 % MgO , 13 % S
- kvalitativně nejčistší výrobek
- velmi rychle se rozpouští ve vodě
→ vhodným hnojivem pro listovou aplikaci
- postřik 5% roztokem



86

Elementární síra

- inertní
- účinnost závisí na jemnosti mletí
- často míchána s bentonitem
- mikronizovaná suspenzní na list
- granulovaná do půdy
- v půdě oxidována bakteriemi *Thiobacillus* na sírany



Na trhu existuje celá řada dalších hnojiv obsahujících síru, ať už jako doprovodnou živinu nebo jako hlavní složku.

87

Děkuji za pozornost!



88