

Växtnäringens inflytande på skörd och kvalitet i potatis

En litteraturstudie

Joakim Ekelöf och Tora Råberg

Område Jordbruk – odlingssystem, teknik och produktkvalitet, SLU Alnarp

Växtnäringens inflytande på skörd och kvalitet i potatis

En litteraturstudie

Joakim Ekelöf och Tora Råberg

Område Jordbruk – odlingssystem, teknik och produktkvalitet, SLU Alnarp



Stiftelsen Lantbruksforskning

Studien finansierades av
Stiftelsen
Lantbruksforskning

Förord

Näringstillförsel till potatis är ett område som det debatterats mycket om under de senaste åren inom svenskt lantbruk. Intresset i frågan är stort bland såväl lantbrukare som rådgivare. Kraftigt stigande priser och ett ökat miljömedvetande ligger till grund för intresset. Omfattande försöksserier och litteraturgenomgångar har under årens lopp utförts gällande kvävet och fosfors inflytande på skörd och kvalitet. Men studier kring de övriga näringsämnen är relativt begränsade. Uppdaterad information kring gödsling av kalium, kalcium, magnesium, svavel och mikronäringsämnen, men även på interaktionen/balansen mellan kväve, fosfor och kalium saknas således inom svensk potatisproduktion.

Internationellt sett är potatis en viktig gröda och omfattande växtnäringsforskning sker på många håll runt om i världen. Rapporten förväntas ge en klar bild över vad som är gjort tidigare och vilka områden som vi behöver satsa på i framtiden.

Alnarp 2011

Joakim Ekelöf
Projektledare
Område Jordbruk
SLU Alnarp

Erik Steen Jensen
Områdeschef
Område Jordbruk
SLU Alnarp

Sammanfattning

Potatis är en viktig gröda för svenskt lantbruk med en odlingsareal som uppgår till omkring 27 000 hektar. För att lyckas väl med grödan krävs en välplanerad odlingsstrategi som optimerar energianvändandet. Ur ett hållbarhetsperspektiv är det viktigt att alla insatsåtgärder som sätts in utnyttjas optimalt. Samtliga av 14 näringsämnen som är essentiella (livsviktiga) för potatisplantan kan påverka skördeutbytet, vilket visar på vikten av en väl sammansatt gödslingsstrategi för en hållbar svensk potatisproduktion. I denna rapport har den senaste forskningen kring växtnäring och potatis sammanfattats. Näringsämnena delas in i tre kategorier, makronäringsämnena, mikronäringsämnena och hjälpsämnena. Till makronäringsämnena hör kväve, fosfor, kalium, kalcium, magnesium och svavel. Dessa utgör generellt mer än 1 g/kg torrsvikt av plantan.

Av makronäringsämnena är det kväve som i störst utsträckning är begränsande och påverkar skörd och kvalitet mest i potatis. Det är också inom detta forskningsområde det finns flest publikationer. Flera sjukdomar påverkas av kvävegödsling liksom kokegenskaper och skördenivå. Kvävegödsling av potatis i Sverige är relativt väl studerat men skulle kunna förbättras ytterligare genom ett ökat användande av kväveanalyser under säsong.

Eftersom stora lager fosfor finns i jorden och endast en liten mängd behövs av plantan ser man generellt små effekter av en fosforgödsling. På jordar med lågt fosforinnehåll eller hög buffertkapacitet kan dock stora mängder behövas för att optimal skörd skall uppnås. Fosfor påverkar i relativt liten utsträckning kvalitet och benägenheten för att plantan drabbas av sjukdomar så det är framförallt skördenivå och knölsättning som kan gynnas då brist på fosfor avhjälpas. Kunskapen runt fosforgödsling av i potatis har utvecklats de senaste åren, men det finns fortfarande förbättringspotential i strategin vid extremt höga samt låga marknivåer .

Kalium är det näringsämne som potatisen tar upp mest av. Trots det är skördeeffekterna inte speciellt stora av gödslingen, vilket ofta beror på att de flesta jordarna förser grödan med en stor del. Som enskilt ämne är kanske kalium det ämne som påverkar kvaliteten mest hos knölen. Kaliumgödsling har visat sig kunna påverka mörkfärgning, stötkänslighet, ihållighet så väl som benägenheten för blötkokning. Dessutom påverkar plantans kaliumstatus frostkänslighet, respons på sjukdomar och stärkelsehalt. Mer forskning behövs i Sverige inom detta område.

Kalcium är ett ämne som belysts mycket inom internationell forskning de senaste åren. Ämnet har visat sig kunna motverka rostfläckighet, stötblått och ihållighet. För att dessa kvalitetssänkningar skall motverkas behöver kalcium tillföras nära knölen då det endast är rötter på stolonen och knölen som tar upp kalcium till knölen. Även sjukdomar och lagringsrötter kan påverkas positivt när ämnet finns tillgängligt för knölen. Förutom en liten påverkan på skördenivå och ökad knölstorlek kan kalcium sänka antalet knölar.

Svavel är ett viktigt näringsämne för potatisplantan som kan påverka både skörd och stärkelsehalt kraftigt. Även sjukdomar så som skorv och groddbränna kan motverkas med svavelgödsling. Hur vanligt det är att bristsituationer uppstår i Sverige i potatis är oklart, men på grund av lågt behov från plantan, atmosfäriskt nedfall och i vissa fall höga halter svavel i jorden behövs troligen inte så mycket svavel tillföras, i alla fall ur skördesynpunkt.

Magnesium behövs i ännu mindre omfattning är svavel och förekommer ofta i tillräckligt hög koncentration i svenska jordar. Ämnet utlakas lätt från sandiga jordar där brist kan uppstå och orsaka skördeföruster samt kvalitetssänkningar i form av stötkänslighet, missfärgningar. Vid överdriven gödsling ökar risken för rostfläckighet och skördeföruster. Även sjukdomar så som stjälbakterios, fusarium och phomarötter påverkas av magnesiumgödsling.

Mikronäringsämnen, som även kallas spårämnen utgörs av bor, järn, mangan, koppar, zink, molybden, klor och nickel. Mikronäringsämnena utgör <0,1 g/kg torrsubstans i plantan. Även om plantan endast behöver mikronäringsämnen i en låg koncentration är de helt nödvändiga för att plantan ska kunna utvecklas normalt. För de flesta mikronäringsämnen är det inte den totala koncentrationen i jorden som är viktig utan tillgängligheten för växterna, som styrs av jordens egenskaper och påverkas av olika odlingsåtgärder.

Järn, mangan, bor och zink hör till de mikronäringsämnen som blir mindre tillgängliga efter underhållskalkning och vid neutralt till högt pH. Vid brist kan samtliga ovan nämnda näringsämnen orsaka stora skördeföruster, flera av ämnena har dessutom en klar inverkan på kvalitet och stärkelsehalt hos potatisen. Få svenska försök har belyst dessa ämnen men internationell forskning visar att det finns stora möjligheter att öka både skörd och kvalitet.

Klor, koppar, molybden och nickel är de essentiella ämnen som studerats minst. Av dem är det klor som har studerats mest eftersom det ofta ingår i föreningar med kalium. Klor har en viktig uppgift i plantan, men en för hög halt sänker skörd och stärkelsehalt. Både stötblått, ihållighet och mörkfärgning kan minska vid kloridgödsling. Koppar ingår i många bladmögelpreparat och behöver därför sällan tillföras genom annan gödsling, om man inte odlar ekologiskt. Molybden är det ämne som potatisen behöver minst av. Gödsling med molybden har visat sig kunna minska glykoalkaloidhalten i knölen.

Hjälpämnen är sådana ämnen som vi än så länge inte tror är nödvändiga för plantans utveckling, men kan ge ökad skörd eller bättre kvalitet. Exempel på hjälpämnen som tas upp i rapporten är kisel, natrium, kobolt, aluminium och selen. Den här litteraturgenomgången visar att flera av dessa ämnen kan ge stora skördeökningar samt påverkar ett flertal sjukdomar. Studien visar att det saknas kunskap kring flera näringsämnen, speciellt under svenska sort- och markförhållanden. Nya försök kring kalium, bor, mangan, magnesium zink och svavel efterlyses speciellt. För att resultaten ska spegla verkligheten krävs mer än ett års studier av samma faktorer och gärna en kombination av fält- och labbförsök.

Innehållsförteckning

INTRODUKTION	9
<i>Syfte och mål</i>	9
BAKGRUND	10
<i>Sveriges potatisproduktion</i>	10
<i>Grödans näringsinnehåll</i>	11
<i>Växtnäring</i>	11
Makro-, mikro och hjälpnäringsämnen	11
Potatisens näringsbehov	12
Analysmetoder	12
Gödsel och gödning	14
MAKRONÄRINGSÄMNENAS PÅVERKAN PÅ POTATIS	17
<i>Kväve (N)</i>	17
Funktion	18
Upptag	18
Skördepåverkan	20
Sjukdomar och kvalitet	21
Analysmetod	22
Gödslingsstrategier	24
Synergi och antagoni	25
<i>Fosfor (P)</i>	26
Funktion	26
Upptag	26
Skördepåverkan	27
Sjukdomar och kvalitet	28
Analysmetod	29
Gödslingsstrategi	30
Synergi och antagoni	34
<i>Kalium (K)</i>	34
Funktion	35
Upptag	36
Skördepåverkan	37
Sjukdomar och kvalitet	39
Analysmetod	40
Gödslingsstrategi	41
Synergi och antagoni	42
<i>Kalcium (Ca)</i>	43
Funktion	43
Upptag	43
Skördepåverkan	44
Sjukdomar och kvalitet	45
Analysmetod	46
Gödslingsstrategi	46
Synergi och antagoni	47
<i>Svavel (S)</i>	48
Funktion	48
Upptag	48
Skördepåverkan	49
Sjukdomar och kvalitet	50
Analysmetod	50
Gödslingsstrategi	51
Växtföljd	51
Synergi och antagoni	52
<i>Magnesium (Mg)</i>	52
Funktion	52
Upptag	53
Skördepåverkan	53
Sjukdomar och kvalitet	54
Analysmetod	55
Gödslingsstrategi	55

Synergi och antagoni	56
MIKRONÄRINGSÄMNE NAS PÅVERKAN PÅ POTATIS	57
<i>Järn (Fe)</i>	57
Funktion	57
Upptag	57
Skördepåverkan	58
Sjukdomar och kvalitet	58
Analysmetod	58
Gödslingsstrategi	59
Synergi och antagoni	59
<i>Mangan (Mn)</i>	59
Funktion	60
Upptag	60
Skördepåverkan	60
Sjukdomar och kvalitet	61
Analysmetod	61
Gödslingsstrategi	62
Synergi och antagoni	62
<i>Bor (B)</i>	62
Funktion	63
Upptag	63
Skördepåverkan	64
Sjukdomar och kvalitet	64
Analysmetod	64
Gödslingsstrategi	65
Synergi och antagoni	66
<i>Zink (Zn)</i>	66
Funktion	66
Upptag	66
Skördepåverkan	67
Sjukdomar och kvalitet	67
Analysmetod	67
Gödslingsstrategi	67
Synergi och antagoni	68
<i>Koppar (Cu)</i>	68
Funktion	69
Upptag	69
Sjukdomar och kvalitet	69
Analysmetod	69
Gödslingsstrategi	70
Synergi och antagoni	70
<i>Molybden (Mo)</i>	70
Funktion	70
Upptag	70
Sjukdomar och kvalitet	71
Analysmetod	71
Gödslingsstrategi	71
Synergi och antagoni	72
<i>Klor (Cl)</i>	72
Funktion	72
Upptag	72
Skördepåverkan	73
Sjukdomar och kvalitet	73
Analysmetod	74
Gödslingsstrategi	74
Synergi och antagoni	74
<i>Nickel (Ni)</i>	74
Inledning	74
Funktion	75
Upptag	75
Skördepåverkan	75
Gödslingsstrategi	75
Synergi och antagoni	75
HJÄLPÄMNE NAS PÅVERKAN PÅ POTATIS	76

<i>Kisel (Si)</i>	76
Funktion	76
Upptag.....	76
Skördepåverkan.....	77
Gödslingsstrategi	77
<i>Natrium (Na)</i>	77
Funktion	77
Upptag.....	77
Skördepåverkan.....	77
Sjukdomar och kvalitet	78
Gödslingsstrategi	78
Synergi och antagoni	78
<i>Kobolt (Co)</i>	78
<i>Selen (Se)</i>	79
REFERENSLISTA	80

Introduktion

Potatisplantans upptag och användande av näringsämnen är ett mångfacetterat forskningsområde. Potatisplantan har ett större behov av näringstillförsel än många andra grödor, vilket beror på dess grunda och ineffektiva rotsystem [11]. Det grunda rotsystemet kan till stor del härledas till plantans oförmåga att penetrera kompakt jord. Redan vid ett motstånd på strax över 1 MPa, börjar rottillväxten begränsas, till skillnad från många andra grödor vars rötter klarar av 2-3 MPa [12]. Det gör att näringsupptag och tillväxt oftast är bättre på en lucker och väl-dränerad jord [13].

De essentiella näringsämnena har viktiga funktioner i plantan och behövs i olika koncentration vid plantans fem tillväxtstadier [14]. För att veta hur näringsinnehållet i odlingsjorden och upptag i växt ser ut krävs noggranna analysmetoder som även kan detektera mikronäringsämnen. Om det uppstår en obalans mellan ämnena kan vissa ämnen bromsa upptaget av andra och därmed ge upphov till en bristsituation som sänker skörd och kvalitet.

Potatis är en gröda som det forskats intensivt om sedan lång tid tillbaka, men det är framför allt forskning från mitten av 1900- och 2000-talet som presenteras här eftersom mätmetoderna blir allt bättre. Metoderna gör det möjligt att ta reda på mer om tillgänglighet i markvätskan, plantans upptag och transport av ämnen i växten. Såväl internationella som svenska publicerade forskningsresultat har granskats och sammanställts och författargruppen har försökt täcka in så många aspekter av näringsämnenas effekt på potatisen som möjligt. Av den anledningen presenteras vissa grundläggande mekanismer så väl som mer komplicerade och ibland inte helt fastställda effekter. Som läsaren kommer upptäcka är det många förutsättningar som gör att flera liknande försök kan få olika resultat. I de fall då resultatet är osäkert diskuterar vi kring det i texten och lyfter fram behov för ytterligare forskning.

Syfte och mål

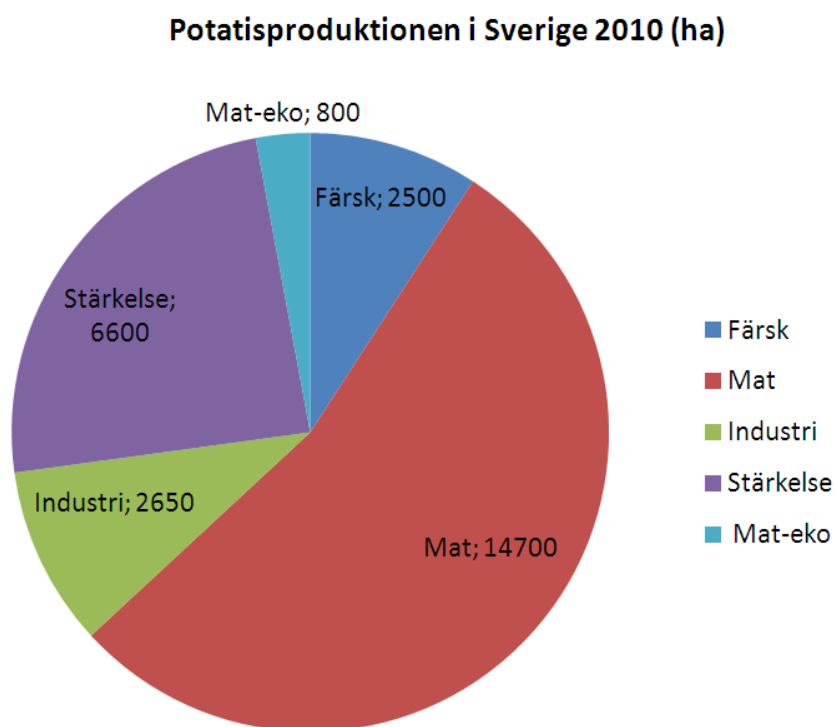
Innehållet i rapporten syftar till att ge en bild av kunskapsläget i internationell forskning inom området växtnäringsämnenas påverkan på potatisproduktionen. Genom att skapa en översikt över kunskapsläget vill författarna bidra till att synliggöra områden där mer forskning behövs för att ytterligare utveckla kunskapen om näringsämnen, kvalitet och skörd.

Målet med arbetet är att litteraturstudien ska ge en samlad kunskapsbild om näringsämnenas påverkan på potatisens tillväxt och kvalitet och identifiera områden där mer forskning behöver göras. Genom att översätta det som har publicerats internationellt har kunskapen större möjlighet att nå ut till målgruppen som är rådgivare och odlare inom sektorn.

Bakgrund

Sveriges potatisproduktion

Potatis är en mycket viktig gröda för svenskt lantbruk och odlingen uppgår till omkring 27 000 hektar (865 000 ton potatis) [15]. Produktionen kan delas upp i flera grupper: mat-, färsk-, industri- och stärkelsepotatis. Den största arealen tas upp av konventionell matpotatisproduktion, se figur 1.



Figur 1. Diagrammet illustrerar areal (ha) potatis som produceras som konventionellt och ekologisk matpotatis, färskpotatis, stärkelsepotatis och industripotatis i Sverige. Källa, Jordbruksverket samt [16]

I fyra län dominerar matpotatisodlingen: Skåne, Västra Götalands, Hallands och Östergötlands län. Tillsammans står de för drygt 75 % av rikets totala matpotatisskörd. Färskpotatis odlas framförallt i Skåne och upptar 22 % av matpotatisodlingen. Potatis för stärkelse odlas främst i Skåne, Blekinge och Kalmar län. I statistiken för stärkelsepotatis ingår även utsädespotatis för stärkelsesorter [17].

Grödans näringsinnehåll

Potatis består av ca 80 % vatten och 20 % solid substans, men variationen kan vara stor beroende på sort och mognadsgrad. Den solida delen består till ca 90 % av kolhydrater och 10 % proteiner [19]. Tabell 1 visar ett utdrag av de flesta ämnena som kan hittas i en genomsnittlig potatis som kokats i salt [18].

Växtnäring

Makro-, mikro och hjälpnäringsämnen

Vissa näringsämnen är essentiella och därmed helt nödvändiga för potatisplantan. De behövs för att skapa vävnaden och upprätthålla metabolismen. Om något av dessa ämnen fattas uppstår onormal tillväxt, störningar i utveckling och reproduktion. I den här rapporten skiljer vi på makro-, mikronäringsämnen och hjälpnämnen. En planta innehåller ca 90 % kol, väte och syre [20]. Eftersom dessa grundämnen finns i vatten och luft behövs inget extra tillskott och de kommer inte nämnas under resten av den här rapporten. De andra makronäringsämnena är kväve, fosfor, kalium, kalcium, magnesium och svavel. Dessa utgör generellt mer än 1 g/kg torrsvikt av plantan.

Mikronäringsämnen, som även kallas spårämnen utgörs av bor, järn, mangan, koppar, zink, molybden, klor och nickel. Mikronäringsämnena utgör <0,1 g/kg torrsubstans i plantan. Då de positiva effekterna av näringsämnena endast kräver en låg koncentration indikerar det ofta att de har en roll som kofaktorer. En kofaktor är en kemisk förening som binder till enzymer vilket bidrar till enzymets katalytiska förmåga.

Hjälpnämnen är sådana ämnen som vi än så länge inte tror är nödvändiga för plantans utveckling, men kan ge ökad skörd eller bättre kvalitet. Det har även observerats att vissa ämnen påverkar abiotisk stress, interaktion mellan planta och herbivorer, sjukdomar eller för att attrahera nyttoorganismer [21]. Då förståelsen ökar om vad de många olika ämnena har för funktion i plantan tror vissa forskare att fler näringsämnen kan komma att räknas som nödvändiga växtnäringsämnen i framtiden [22]. Exempel på hjälpnämnen är kisel, natrium, kobolt och selen.

Tabell 1. Potatisens näringsinnehåll, kokt med salt per 100 g [18].

Energi (kJ)	kJ	329
Energi (kcal)	kcal	83
Protein	g	1,8
Fett	g	0,1
Kolhydrater	g	17,5
Fibrer	g	2,1
Salt	g	0,2
Aska	g	0,9
Vatten	g	77,6
Fosfor	mg	42
Jod	µg	7
Järn	mg	0,38
Kalcium	mg	4
Kalium	mg	322
Magnesium	mg	19
Natrium	mg	80
Selen	µg	0
Zink	mg	0,2
Tiamin	mg	0,05
Riboflavin	mg	0,03
Vitamin C	mg	17
Niacin	mg	1,8
Vitamin B6	mg	0,19
Vitamin B12	µg	0
Folat	µg	20

Potatisens näringsbehov

Riktvärdena i tabell 2 ger indikationer på hur mycket växtnäring potatisen innehåller och hur mycket som normalt bortförs vid skörd. Många faktorer kan ge en variation i näringsinnehållet som till exempel sort, jordtyp, pH, mängden organiskt material, gödsling, bevattning och väderförhållande under tillväxt. Sortens genotyp påverkar också. Dessutom kan tidpunkt och metod för provtagning och analys inverka på resultatet [19].

Analysmetoder

Visuell bedömning

Näringsämnen rör sig på olika sätt inom växten och används ofta för helt olika funktioner, vilket ger ledtrådar vid visuell diagnosticering. Om ämnet är mobilt så flyttas det från äldre blad till nyare vid brist och symptomen kommer då att synas på äldre blad (tabell 3). Brist på ämnen som är immobila ses först i ny och snabbväxande vävnad [23]. Interaktionen mellan näringsämnen kan vara komplicerat då det påverkar plantans delar olika och interaktionen kan i vissa fall förändras under plantans varierande tillväxtfaser [24, 25].

Laboratorieanalys

Tidigare mättes effekten av gödsling ofta genom att kvantifiera skördemängden (ton/ha eller motsvarande) [26], vilket kan vara missvisande då effekten ofta är en kombination av årsmånsbundna klimatologiska faktorer och beror på potatissortens förmåga att tillgodogöra sig näringsämnen. Genom att utföra kemiska analyser är det möjligt att mer ingående förstå hur olika näringsämnesnivåer interagerar med varandra för att få bästa möjliga skörd och kvalitet.

Jordanalyser

Det finns ett flertal olika analysmetoder som kan användas för att detektera koncentrationen av grundämnen i jorden. Efter att jorden tvättats i olika starka syror avläses koncentrationen ofta med ett instrument som kan läsa av flera ämnen samtidigt, till exempel en ICP (inductive coupled plasma discharge) [27]. Extraktion med en svag syra som ammoniumlaktat (AL) ger svar på koncentrationen av löslig näring. Det är vanligen

Tabell 2. Potatisknölens växtnäringssammansättning i kg/ton och kg/40 ton [5, 8].

Näringsämne	Färskvikt (kg/ton)	Ungefärlig Bortförsel (kg/40 ton)
N	2,28-3,57	133
P	0,40-0,62	22
K	3,70-5,41	207
Ca	0,07-0,20	4
Mg	0,22-0,13	10
S	0,21-0,48	15
	(g/ton)	(kg/40 ton)
Zn	1,8-5,0	0,09
Cu	1,4-2,1	0,07
Mn	1,34-2,10	0,15
Fe	~ 0,42	0,017
B	~ 0,62	0,025
Mo	~ 0,037	0,001
Na	~ 230	9,2

Tabell 3. Näringsämnenas grad av mobilitet i floemet [1].

Hög mobilitet	Medel mobilitet	Låg mobilitet
Kalium	Järn	Kalcium
Magnesium	Zink	Mangan
Fosfor	Koppar	
Svavel	Bor	
Kväve (amino-N)	Molybden	
Klorid		
Natrium		

det värdet som är avgörande när man ska fatta beslut om vilken gödning som bäst lämpar sig och i vilken mängd den ska tillsättas. Markens förråd av svårösliga ämnen analyseras genom extraktion i en stark syra som saltsyra (HCl). Analyssvaret ger en indikation om vilka fastlagda potentiella resurser av ämnet som jorden har. Det är viktigt som indikation för hur mycket av ämnet som kan frigöras till den lösliga näringspoolen [28, 29]. Ibland uppstår en brist av ett näringsämne trots att det finns i tillräckligt hög koncentration i jorden. Det kan bero på ett antagonistförhållande mellan ett eller flera andra näringsämnen [30]. Plantans upptag av näringsämnen beror således av flera faktorer såsom: hur hårt de binder till jordens kolloider, hur de påverkas av jordens pH, om de bildar svårösta molekyler med andra näringsämnen och på vilket sätt de tas upp av plantan [31].

Jordanalys bör kompletteras med vävnadsprov för att minska risken att tolka jordens näringsinnehåll som synonymt med växtens upptag [32]. För att odlaren ska ha nytta utav analysen bör de tas med några års mellanrum vid samma tid på året, på samma djup och på representativa platser på fältet [33].

Vävnadsanalys

Genom att ta prover på bladskaff kan upptaget från jorden dagarna innan provtagningsögonblicket mätas [26]. Växtanalyser kan bestå i förbränning eller nedbrytning av vävnad med till exempel salpetersyra (HNO_3). Framförallt används emissions eller absorptionsspektrometri för avläsning. Flamemissions spektrometri har länge använts för avläsning av kalium och natriumkoncentration. Flamatombabsorptionsspektrometri används mer för avläsning av koncentrationen kalcium, magnesium, koppar, järn, mangan och zink i nedbruten växtvävnad. För mycket låga koncentrationer av ämnen som molybden används flamlös atomabsorptionsspektrometri. Eftersom dessa metoder kräver relativt stor tidsåtgång används, i så stor utsträckning som möjligt, instrument som kan läsa av flera ämnen samtidigt som till exempel en ICP (inductive coupled plasma discharge) [27].

När kvävenivån analyseras används metoder som avläser gasavgång i stället, till exempel Kjeldahl-metoden [32]. Med metoden avläses kväveinnehållet både i organiska och oorganiska substanser [27]. Nu används även den lite enklare Dumasmetsoden för automatiserad rutinavläsning av totalkväve [32].

Växtanalyser som görs på labb är dock tidkrävande och kostsamma vilket begränsar möjligheten att använda dem som verktyg för kompletteringsgödning. Det har därför tagits fram billigare och snabbare metoder för att mäta växtens näringsstatus under växtsäsong.

Snabbmetoder för växtanalyser

Flera typer av instrument finns tillgängliga för att mäta näringsinnehåll i växtmaterial under säsong. Det som huvudsakligen testas är koncentrationen av mobila makronäringsämnen som nitrat (NO_3^-), fosfat (PO_4) och kalium (K^+) i stam och bladskaff. Fördelen med den här typen av testteknik är att kostnaden blir låg och att analysvaret kan avläsas direkt. Några av nackdelarna är att den sällan är kvantitativ och snarare ger svar om ämnet är över eller under ett bestämt gränsvärde [27]. En mer ingående beskrivning av metoden finns beskrivet längre fram i rapporten.

Gödsel och gödning

Det finns många olika typer av gödning och gödsel som varierar i flytande och fast form. Det som presenteras här ska endast ses som några exempel som visar på bredden av sammansatta specialgödningsmedel som rekommenderas för potatisodling, se tabell 4 [34, 35].

Tabell 4. Växtnäringsinnehåll i några sammansatta gödningsmedel [34, 35].

	N-tot	P	K	Mg	S	Ca	Na	B	Mn	Fe	Cu	Ni	Zn
	(%)							(mg/kg)					
ProMagma 8-5-19	8	4	19	2,5	11,7			0,05	0,25		0,05		
ProMagma 11-5-18	11	3,5	17,6	1,6	10			0,05	0,25	0,08	0,03		0,04
Biofer 6-3-12	6,1	3	11,8	0,1	6,9	6	2,6	22,2	9	349	7,86	1,57	84,1*
Vinass 4-0-4	4,0-4,6	<0,1	4,3-4,7	0,1	2,0-3,5	0,4	1-2	10	34	64	2,1	6,50**	<0,90
Kalimagnesia /Patentkali	0	0	24,9	6	18	0	0						
Kaliumsulfat	0		42		18								
NS 27-4	27				4								

* Det relativt höga innehållet av zink begränsar maxgivan till 8 320 kg/ha enligt KRAVs regler.

**Det relativt höga innehållet av nickel begränsar maxgivan till 5 300 kg/ha enligt KRAVs regler.

Genom att använda sig av gödning som har bearbetats för att vara lättlöslig är det enkelt att förse grödan med den koncentration av ämnen som jorden har underskott på eller som man uppskattar att plantorna behöver i olika utvecklingsstadier [36]. Det finns även många tillsatsprodukter på marknaden som syftar till att öka utnyttjandegraden av tillförd näring. Flera av dem har en intressant teknologi som teoretiskt sett skulle kunna fungera i praktiken. Försöksdata har även visat att några av produkterna fungerar men mer försöksdata behövs innan dessa tillsatser kan rekommenderas till potatis för kommersiellt bruk [37].

Vid användning av stallgödsel med inblandning av strö tillförs marken både många viktiga näringsämnen och organiskt kol som ger en förbättrad struktur och vattenhållande förmåga [38]. När jorden är rik på kol ökar också dess kapacitet att hålla kvar näringsämnena och minskar risken för utlakning [8, 39]. Stallgödselns innehåll varierar med djurslag, foder och strötyp. Schablonvärden för de vanligaste typerna presenteras i tabell 5.

Organisk gödsel behöver mineraliseras för att växterna ska kunna ta upp näringsämnena och det kan vara svårt att förutse hur snabb processen kommer vara som varierar från några dagar till flera år.

Mineraliseringshastigheten beror av temperatur, kolstruktur i gödseln, kväveinnehållet, tillgång till vatten och syre, samt typ och mängd mikroorganismer som finns i jorden [23]. Dessutom varierar näringsinnehållet i stallgödsel beroende på vad djuren utfodras med och vad de har för strö [40]. Osäkerheten kan göra att näringsämnena riskerar att rinna ut

Tabell 5. Schablonvärden för växtnäringsinnehåll i stallgödsel från olika djurhållningsinriktningar enligt Stallgödseldatabasen, Jordbruksverket, Greppa näringen, Lyckeby Starch.

Gödselslag	N	P	K
Biogödsel	3,9	0,6	1,5
Djupströbädd nöt	0,5	2	11,8
Fastgödsel svin	1,6	3,9	2,5
Flytgödsel nöt	1,8	0,6	3,6
Flytgödsel svin	2,3	1,1	1,6
Fruktsaft	1,6	0,4	5
Hästgödsel	0,7	1,6	9,9
Kletgödsel höns	7,5	3,8	5
Nöt fastgödsel	1,4	1,6	5
Nöt urin	2,6	0	4,6
Slaktkyckling	6,6	8,1	15,4
Svin urin	1,6	0,3	1,2

med markvätskan om mineraliseringen sker vid en annan tidpunkt än förväntat [38]. Olika strategier med planering av växtföljden och mellangrödor eller fånggrödor kan minska problemet [39]. Andra organiska gödningsmedel är mer lösliga som till exempel rötresterna från biogas och blodmjöl [34] och ger därmed ett snabbare upptag.

Det finns undersökningar som pekar mot att organiska gödselmedel ofta fungerar sämre vid högt pH och att det högre pH-värdet kan minska upptaget av på bor, järn och mangan. Växternas egen metod att öka tillgängligheten för många ämnen är att surgöra miljön närmast rötterna. Vid högt pH motverkas det här genom jordens buffrande förmåga, vilket kan förstärkas av koldioxidproduktionen från nedbrytningen av organiskt material [22].

Optimal gödsling

Odlaren tjänar ofta på att eftersträva en gödningsnivå som ligger strax under den som ger optimal tillväxt. Detta eftersom skördeeffekten av gödslingen avtar med stigande givor för att till sist nå en ekonomisk brytpunkt. När nivån för optimal tillväxt överskrids ökar inte skörd eller kvalitet längre, men växten tar ändå upp mer vilket brukar benämnas lyxkonsumtion [20].

Upptag av näringsämnen

Potatisproduktion sker på många olika jordtyper som har varierande struktur, närings- och humusinhåll. Sammansättning och struktur förändras dessutom kontinuerligt genom påverkan från växtföljd, gödsling och väderlek [8]. Även markpackning kan bidra till att minska plantans näringsupptag [2]. Dessutom kan biotiska aspekter påverka växtens behov av näringsämnen som ogräs, skadedjur och sjukdomar [8]. Potatisplantans behov av näringsämnen varierar under växtsäsongen, efterhand som tillväxtfaserna växlar.

Många sjukdomar som begränsar potatisskörden kan minskas genom att styra gödslingen och ändra jordens pH. Effekten av gödsling beror på olika mekanismer som ändrar plantans motståndskraft, ökad aktivitet av antagonistiska mikrober och ibland en rent toxisk effekt på patogener. En svårighet är att de optimala givorna för sjukdomsbegränsning inte alltid är förenliga med den mängd näring som potatisplantan behöver för maximal knölsättning eller odlarens ekonomi [41]. För att minska odlarens utgifter och samtidigt möta miljö- och hälsoaspekter måste sambandet mellan dessa aspekter samt bekämpning, gödning och skörd kartläggas noggrant [8, 41].

Skillnad mellan jordar

Mineraljord har bildats huvudsakligen genom en förflyttning av jordfraktioner genom vind, vatten och morän från glaciärrörelser. De omnämns ofta som mellansand eller mjällig mo. Organogena jordar har ofta bildats på plats och kan bestå av torv och gyttjejordar. Om halten organiskt material är 20-40 % benämns jorden mulljord. Markens förmåga att leverera näringsämnen är i hög grad beroende av dess textur och mineralogi. Vilka mineral som dominerar i en jord beror på det primära mineralet samt i vilken grad vittringen har omformat det. Det organiska materialet i jorden utgör ett stort förråd av näringsämnen eftersom det adsorberar kationer och ger en struktur som håller kvar vatten [42]. Grovkorniga jordar som har lågt innehåll av lermineral och/eller humus har nästan ingen kapacitet att bromsa utlakningen av till exempel Ca^{2+} och K^{+} som tillförts genom gödsling [42].

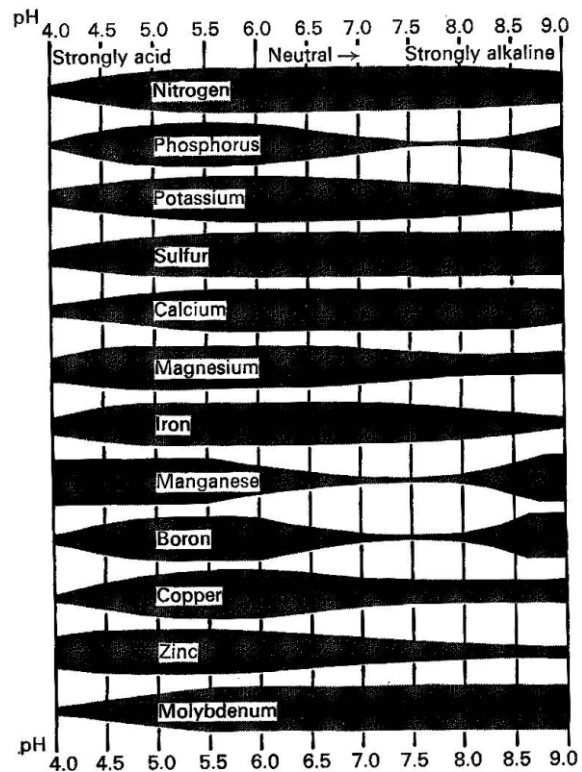
Betydelse av pH

De olika näringsämnen har olika laddning, katjon (+) eller anjon (-) vilket gör att de skapar bindningar som kan vara mer eller mindre starka. I vissa fall binder de till jordens kolloider, vars yta är negativt laddade, eller till andra näringsämnen på ett sådant sätt att det kan försvåra plantans upptag. Jordens pH, som beror av förekomsten av H_3O^+ och OH^- joner, styr i högsta grad vilka joner som är lättare eller svårare att ta upp för plantan. Genom att veta vilket pH jorden har underlättas den visuella diagnosen av bristsymptom [43]. Den effektiva katjonbyteskapaciteten i jordar påverkas av pH och varierar beroende på det dominerande mineralet och det organiska materialet [44]. Sedan början av 1900-talet har det ofta framhållits att pH nära 7 är eftersträvansvärt i mineraljordar [45].

En omfattande studie på moränjord visade att de flest anjoner ökar i markvätskan vid ökat pH, vilket förklaras av en minskad anjonbyteskapacitet. De flesta av de studerade katjonerna däremot, minskar runt pH 6-7 och efter kalkning, för att sedan stiga igen då pH överskrider 7. Lösligheten av organiskt material ökar vid ökat pH och tros spela en viss roll i katjonernas U-formade löslighetskurva. Katjonerna bildar troligen stabila komplex med det organiska materialet vars löslighet är hög vid pH över 7 [46]. Löst organiskt material eller andra komplex kan vara mindre adsorberbara för plantan än fria joner. Komplexiteten ökar ytterligare genom att ökad löslighet av näringsämnen inte nödvändigtvis betyder ökad tillgänglighet för växten. [47].

Då pH är lägre än 4,5 minskar tillgängligheten drastiskt för många ämnen som kväve, kalium, svavel, kalk, järn, bor, koppar och molybden [23] samtidigt som halten av andra ämnen riskerar att nå toxiska koncentrationer till exempel mangan och aluminium [22]. Figur 2 illustrerar en något förenklad bild över de flesta essentiella jonernas tillgänglighet vid olika pH-värden.

Genom att under många år gödsla en mineraljord ensidigt med ammoniumnitrat har det uppmätts en stark sänkning av pH till så lågt som 4 i de översta 5 cm. Forskare har då uppmätt att lösligheten ökat för aluminium, järn, mangan och zink. Då $CaCl_2$ tillsattes till dess att pH nådde 6,0 minskade deras löslighet i jorden, med störst minskning av aluminium [48]. I ett annat kalkningsförsök utfört på mulljord har man sett endast begränsad påverkan på magnesium, kalium och natrium. Förutom rena mulljordar är det få odlade jordar i Sverige som har pH värden under 5,0 om de inte gödslats intensivt med försurande gödselmedel [22].



Figur 2 Jonernas löslighet i markvätskan påverkas av jordens pH. Bredden på det svarta området visar på den relativa tillgängligheten [5].

Enligt de senare undersökningarna är tillgängligheten av de 12 viktigaste näringsämnen effektivast mellan pH 5,0–6,0 [49]. Enligt äldre studier har just potatis ett brett optimum mellan pH 4,1–7,4 eftersom grödan är ganska okänslig för lågt och högt pH när skördemängd används som avgörande parameter [5]. Vad man väljer för typ av gödning eller gödsel påverkar alltså pH-halten i jorden och kan antingen öka eller sänka behovet av kalkning. Kraftiga givor av NPK som är sulfatbaserat är pH-sänkande. Fast stallgödsel har oftast en svagt pH-höjande effekt [50].

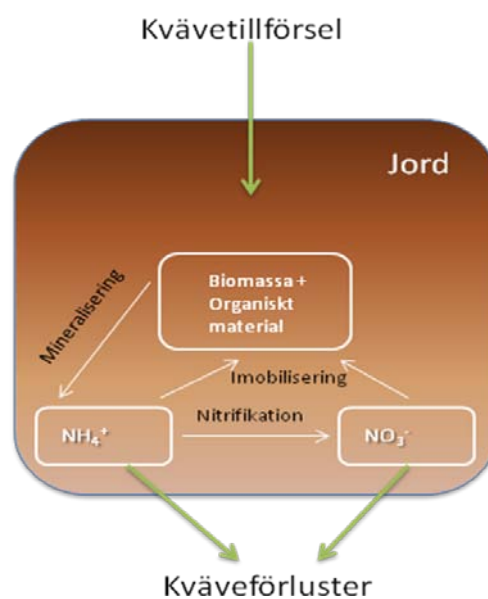
Kalkning

Det har observerats att flera viktiga mikronäringsämnen som fosfor, järn, mangan, bor, kobolt, koppar, nickel och zink kan bli svårtillgängliga i sand, mo och organiska jordar då pH höjs genom kalkning [22, 51], medans lerjordarna är mindre känsliga. Skillnaden mellan organiska och mineraljordar är framförallt en större jonbyteskapacitet i de organiska jordar jämfört med jordar som till högre grad består av mineraler [49]. Risken för brister är större på jordar som kalkats kraftigt än på jordar med ett naturligt högt pH [22]. Fördelen med ett högt pH är att aluminiumjonernas löslighet till markvätskan minskar och därmed även plantans upptag av det skadliga ämnet [5]. Höga kalciumhalter i jorden ökar risken för magnesiumbrist och i internationell litteratur har en kvot Ca/Mg i jorden kring 5 rapporterats vara optimal. Risken för kaliumfixering i jorden ökar vid kalkning och högt pH vilket gör att det krävs kraftigare kaliumgödsling på jordar med högt pH [22].

Makronäringsämnenas påverkan på potatis

Kväve (N)

Normalt finns mellan 6000 till 8000 kg organiskt bundet kväve per hektar men endast 10 till 200 kg N blir växttillgängligt genom mineralisering årligen [52]. Hur mycket kväve som frigörs är starkt beroende av mullhalten och den biologiska aktiviteten i jorden samt hur sammansättningen av det organiska materialet ser ut. Generellt sätt bidrar en hög mullhalt och hög biologisk aktivitet till en högre mineralisering.



Figur 3. Förenklad bild över kvävetts omlopp i jorden.

Tillförseln via atmosfäriskt nedfall är näst intill försumbar och uppgår till några få kg N/ha/år [53].

Lättillgängligt kväve är hårdvaluta i jordens ekosystem och det sker en ständig kamp och utbyte mellan jordens mikroorganismer plantans rötter. Mikroorganismers celler består av ungefär 50 % kol (C) och 8-10 % kväve (N) vilket ger en C/N kvot på ungefär 5. För mineraliseringen innebär detta att om organiskt material med en hög C/N kvot tillförs till jorden kommer ett underskott av kväve uppstå. Mikroorganismerna tar då upp lättlösligt kväve från markvätskan vilket skapar det man kallar för immobilisering som i sin tur kan leda till kvävebrist för plantan. Vid tillförsel av organiskt material med låg C/N kvot blir konkurrensen om kväve mindre och kväve frigörs (mineraliseras) i stället efterhand som mikroorganismerna dör (figur 3). Kvävets kretslopp i jorden är mycket komplex och finns beskrivet på flera håll och kommer därför inte diskuteras närmare i denna rapport [41, 49, 54].

Funktion

Kväve ingår som beståndsdel i många livsviktiga proteiner i plantan, både som enzymer som verkar i fotosyntesen och som lagringsproteiner i knölen [55]. Konstigt nog påverkas inte plantans utseende speciellt mycket av kvävetillförsel. Vid höga kvävegivor grenar sig plantan dock mer och bladstorleken blir något större. Dessutom får bladen en grönare färg (figur 4), men en grönare färg kan även bero på andra faktorer så som torkstress. Eftersom kväve är mobilt i plantan syns brissymptomen först hos de äldre bladen som blir ljusgröna eller rent av gula.

Kvävetillförsel leder ofta till att plantorna täcker raderna tidigare på våren, men kan även påverka hur länge bladen är gröna in på hösten. Att bladen bibehåller sin gröna färg längre beror främst på att nya blad bildas på plantans förgreningar snarare än att bladens livslängd förlängs [56]. Detta är de främsta anledningarna till att kvävegödsling ger en högre skörd [57] även om kvävegödsling också kan påverka effektiviteten hos fotosyntesen.



Figur 4. Kvävebrist, en något ljusare färg syns på de äldre bladen.

Som regel påverkar inte kväve antalet stjälkar per sättknöl, det styrs huvudsakligen av sorten, storleken på utsädet och den fysiologiska åldern på knölen [58]. Ingen samstämmighet finns heller mellan kvävetillförsel och antalet knölar per stam som kan bli både större och mindre [59]. Det kvävet främst bidrar med är storleken på knölarerna [57, 59, 60].

Upptag

Kväve är utan tvekan det näringsämne som är mest studerat när det gäller potatis och är också det ämne som påverkar skörden i störst utsträckning [57]. Ämnet tas upp i jonform antingen som nitratkväve (NO₃⁻) eller ammoniumkväve (NH₄⁺) tillsammans med växtens vattenupptag. Upptaget kan ske både aktivt och passivt och kan således styras av växten. Det passiva upptaget sker via vattenströmmen upp i växten medans det aktiva upptaget

sker via kontrollerad diffusion[61]. Om kvävet tas upp i form av nitrat reduceras det i växten till ammonium innan det kan assimileras och kan transporteras runt i växten.

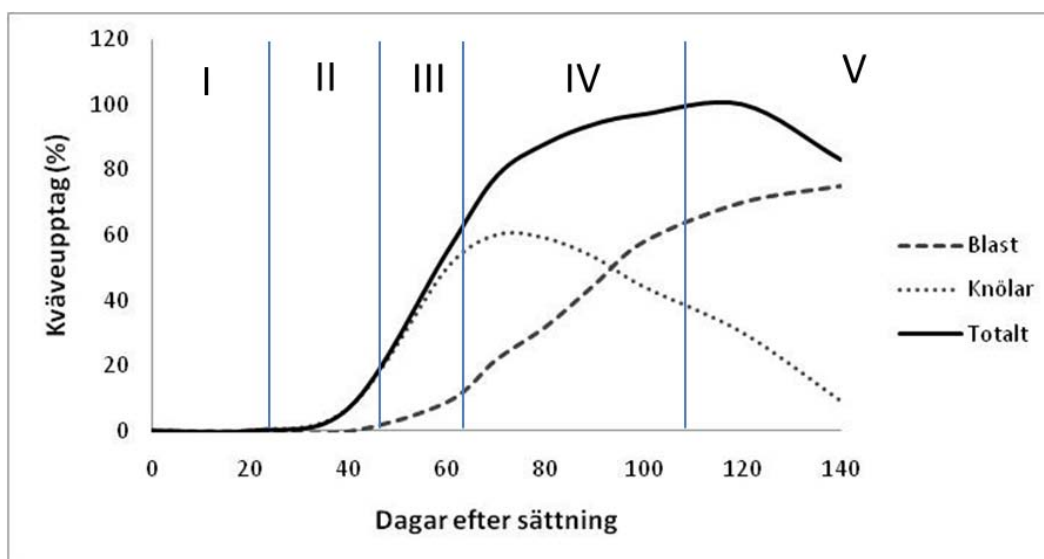
Potatisplantans kvävebehov varierar under säsongen och kan delas in i fem olika faser [45]. Under fas I, den första månaden efter sättning, använder sig plantan huvudsakligen av sättknölens näringsreserv och tar därför inte upp speciellt mycket näring från jorden. En för hög kvävegödsling i detta stadium kan liksom kalium i vissa fall ge upphov till en något (ett par dagar) senare uppkomst [62]. Men i de fall där gödslingen senarelägger uppkomsten påverkas sällan skörden nämnvärt [63].

Efter uppkomst kommer en period av vegetativ tillväxt (fas II) som varar ca 25 dagar, då äger också knölnitieringen rum. Under denna period behöver plantan kväve för knölsättning och tillväxt men en allt för hög kvävegödsling gynnar blasttillväxt och kan senarelägga knölsättning något, (5-7 dagar) vilket kan sänka skörden [64-66]. Vid denna periods slut har grödan tagit upp ca 20 % av sitt kväveupptag.

Fas III börjar omkring 50 till 70 dagar efter sättning, (kan ske tidigare för tidiga sorter) då bildas knölnarna och upptagningshastigheten av kväve är som störst.

Under fas IV sker knöltillväxten; 60-90 dagar efter sättning för tidiga sorter, och 70-120 dagar efter sättning för sena sorter. Det är under denna period som det huvudsakliga kväveupptaget sker. Ojämn kvävetillgång under denna fas kan ge sänkt kvalitet, (missformade knölar, ihållighet), sänkt skördepotential och ger en planta som är mer känslig för sjukdomar [67-69]. För lite kväve ger en tidigare avmognad och mindre knölar [60, 69, 70]. En för hög giva under denna period stimulerar blasttillväxt och kan sakta ner knöltillväxten [58, 71, 72]. Detta skapar problem så som försenad avmognad, sekundär knöltillväxt, och sänkt specifik vikt/stärkelsehalt [73-76].

Den femte och sista fasen (fas V) är när blasten börjar vissna ner. Under denna fas transporteras näringen från blast och rötter till knölnarna och upptaget från marken är minimalt [77] (figur 5).



Figur 5. Generaliserad bild över kväveupptaget i potatis över tid. Y-axeln anger hur många procent av totalupptaget som tagits absorberats. Tillväxtperioden är indelad i fem tillväxtfaser: I groning, II vegetativ, III knölsättning, IV knöltillväxt, V avmognad. Översatt från referens [57].

Upptagningshastighet

Upptagningshastigheten av kväve varierar mellan 2,0 till 6,0 kg/ha/dag beroende på sort, väderlek och utvecklingsstadium. Men i genomsnitt tar plantan upp knappt 3 kg N/ha/dag under knöltillväxten, vilket motsvarar ca 120 kg N/ha om den pågår i 45 dagar [78].

Vid överskott kan potatisplantan lyxkonsumera kväve. Anledningen till detta är att kunna bibehålla en hög tillväxthastighet under perioder då den inte kan ta upp tillräckligt med kväve från marken [79]. Kvävekoncentrationen i knölna ligger i normalfallet kring 2 % av ts vikten vilket motsvarar drygt 3 kg N per ton färskvikt. Vid en skörd på 40 ton/ha bortförs alltså ca 140 kg kväve. Upptaget av kväve ökar som regel linjärt med stigande tillförselnivåer och kvävekoncentrationen i plantan blir då också högre [80].

Upptagningseffektivitet

Hur mycket kväve potatisen tar upp i förhållande till vad som är tillfört (upptagningseffektiviteten) kan variera mellan 29 och 77 % [81-84]. I normalfallet ligger dock upptagningseffektiviteten kring 40-60 % varav 70 till 85 % återfinns i knölna. Men i vissa fall där höga kvävegivor lagts och grödan skördas omogen kan upp till 40 % av kvävet finnas kvar i bladen [85]. Anledningarna till varför effektiviteten varierar kan vara många, men de kanske viktigaste parametrarna är bevattning/nederbörd och om grödan tillåts växa till mogen skörd. Bevattning stimulerar planttillväxt och kväveupptag och man når som regel högre effektivitet (10 till 25 %) och en tidigare avmognad [86]. Men eftersom skördepotentialen höjs med bevattningen kan mer kväve behöva tillföras för att nå optimal skörd om fältet bevattnas [87]. Kraftig nederbörd kan orsaka skördeföruster och läckage vilket påverkar effektiviteten negativt [88]. En annan förklaring till variationen kan vara sättavståndet, vid tätare sättning uppnår man som regel högre upptagningseffektivitet av kväve [89, 90].

Kväveläckage

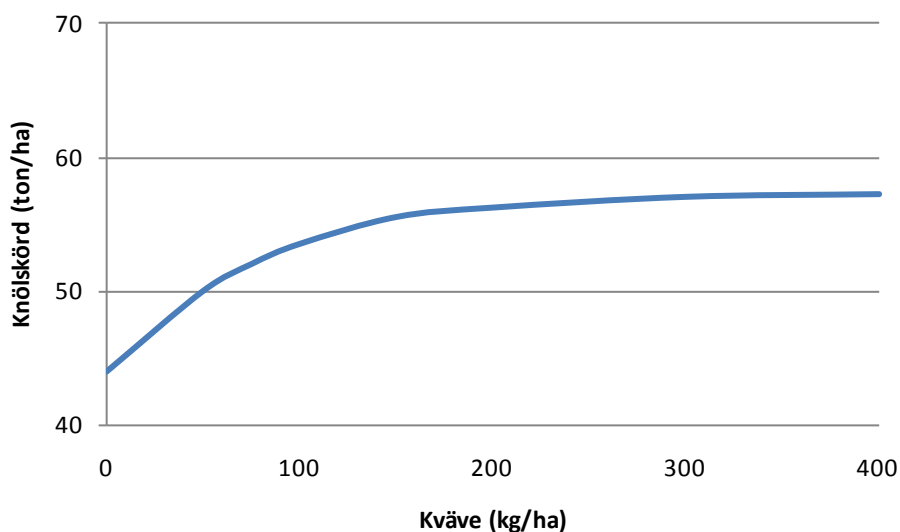
Potatis anses vara en högriskgröda när man talar om kväveläckage. Detta på grund av att stora mängder kväve är i omlopp och att odlingen ofta sker på jordar med hög genomsläpplighet och liten vattenhållande förmåga. Båda jonerna (NO_3^- och NH_4^+) riskerar att försvinna från jorden innan de kommer plantan tillgodo, dels genom omvandling till nitrösa gaser så som ammoniak, lustgas och kväveoxid, och dels genom läckage. Det är främst det negativt laddade nitratkvävet som inte binder speciellt starkt till jordens kolloider, som löper störst risk att lakas ut, men båda jonformerna kan föras bort med jord- och vattenerosion [37, 52, 57].

Internationella siffror angående kväveläckage från potatis har visat på nivåer mellan 10 och 171 kg kväve per hektar för kommersiella fält [91-93] medans de försöksresultat som finns varierar mellan 4 och 270 [94, 95]. Under svenska klimatförhållanden är det störst risk för kväveläckage efter skörd, speciellt då skörden har begränsats av någon anledning. Vid höga skördenivåer lämnar dock potatisen sällan mer än några tiotal kg N efter sig. För att minska risken för kväveläckage kan man (I) optimera skördenivån, (II) dela kvävegivan, (III) använda sig av så kallade "slow release" gödselmedel [96-98] eller (IV) etablera en fånggröda [52].

Skördepåverkan

Kväve är som sagt det näringsämne som påverkar skördenivå hos potatis allra mest och det är därför också extra viktigt att gödslingsnivån är optimal. Skörderesponskurvan för

kväve är unik för varje sort och växtplats men generellt sätt följer den kurvan i figur 6. Som regel har man störst effekt av de första kilona tillförd kväve, då skördeökningar med omkring 120 kg potatis per hektar per kilo tillförd kväve inte är ovanligt. Därefter avtar skördeeffekten för att tillslut närma sig noll.



Figur 6. Genomsnittlig skörderesponskurva för kväve i sorten Bintje. En sammanställning av 98 försök. Omarbetat diagram från referens [99]

Sjukdomar och kvalitet

Kokkvalitet

Då kvävegödsling kan påverka både knöltillväxtens start och avmognad kan också kokegenskaperna påverkas. En hög kvävegiva ger en omfördelning av ämnen från knöl till blast vilket leder till sänkt ts-halt och mer fast/blötkokande egenskaper. Generellt sett ökar benägenheten för mörkfärgning och blötkokning vid tillförelse av ökande kvävemängder [100, 101], men försök har även visat att mörkfärgningen kan minska om kvävenivån höjs från noll till optimal nivå [85]. På samma vis kan mörkfärgning vid chipsproduktion påverkas av för hög respektive för låg kvävenivå [100, 102]. Eftersom radmyllning ger en ökad kvävetillgänglighet är det inte så förvånansvärt att vissa försök har resulterat i en ökad benägenhet för blötkokning och mörkfärgning (dock ej statistiskt signifikant) [2].

Vissnesjukan

Kvävetillförelse kan påverka ett flertal potatissjukdomar. Bland annat har man sett att angreppen av vissnesjuka (*Verticillium dahliae*) minskar vid optimal kvävetillförelse och att lägre givor ger större angrepp [103, 104]. Det verkar också som att ammoniumkväve motverkar angreppet i större utsträckning än nitratkväve [105-107].

Torrfläcksjukan

Kvävetillförelse påverkar också angreppen av torrfläcksjuka (*Alternaria solani*). Försök har visat att angreppen av torrfläcksjuka kan minska åttafaldigt med en stigande kvävegiva. Kvävegödsling är trots det inte något fullständigt skydd mot sjukdomen. På grund av en förhöjd skördepotential om torrfläcksjukan bekämpas ligger den optimala kvävegivan ca 30 kg högre än om den inte kontrolleras. [108, 109].

Bladmögel

Bladmögel (*Phytophthora infestans*) påverkas till viss grad av kvävetillförsel. Då kväve stimulerar blasttillväxt kan bladverket bli tätare vilket ger upphov till ett fuktigare mikroklimat och kraftigare angrepp [110]. Som tidigare nämnts kan höga kvävegivor försena mognadsprocessen vilket medför att blasten står grön längre in på hösten. Samtidigt förlängs då bladmöglets förökningssäsong vilket kan ge större angrepp av brunröta [111]. Kväve ökar även tillväxthatigheten på blasten vilket gör att bekämpningsintervallet kan behöva kortas för att all bladyta skall täckas av svampmedel. Man har även kunnat visa att svampen utvecklar större koloniseringsområden (fläckar) på bladen om kvävegivan är hög [112]. Att kvävegödsling ger kraftigare angrepp av bladmögel är ingen ny kunskap, detta skriver man om redan på 30-talet i "En praktisk handbok för potatisodlare" [113].

Virus

Både en för hög och för låg kvävegiva kan påverka förekomsten av virus. Låga kvävegivor ger ofta en ljusare blast vilket kan vara mer attraktivt för bladlusen som sprider virus [114]. En för hög giva som förlänger blasttillväxtperioden kan också innebära en större risk för smittspridning [109].

Analysmetod

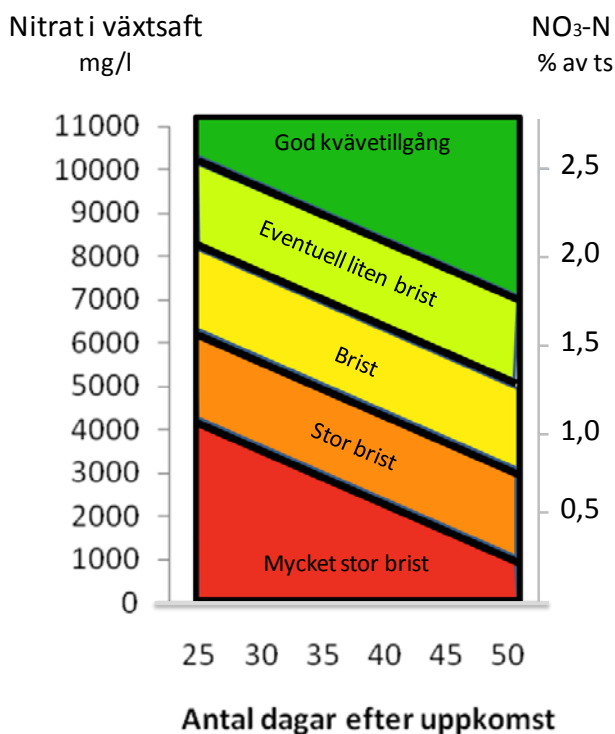
Jordanalyser

Det finns flera redskap och analysmetoder som underlättar beslutsfattandet kring när och hur mycket kväve som bör tillföras. Bland annat kan markens mineralkväveförråd bestämmas med hjälp av ett N-min prov. Flera försök har studerat mineralkväveförrådets betydelse för den kommande kvävegödslingen i potatis [115, 116]. Resultaten visar att det många gånger är svårt att anpassa gödslingsbehovet utefter N-min provet då effekten av mineralkvävet varierar mellan platser och årsmån. Några generella slutsatser är att till exempel bör provet tas mellan 0 - 30 cm djupt då det bäst korrelerar med skördeeffekten. Att endast ta N-min prov för hela jordprofilen har liten praktisk betydelse för kvävegödslingen. En N-min analys av de översta 30 centimetrarna i kombination med en analys av lättligänligt kväve (pool 1 analys [117]) anses vara det bästa sättet att uppskatta hur mycket kväve marken kan förse grödan med [116]. Vidare så kan man generellt säga att kväveeffekten av det tillförda kvävet avtar med stigande N-min förråd [115].

I svenska försök konstaterades att ingen korrelation fanns mellan markens kväveinnehåll och effekten på skördenivån [115]. Däremot avtog effekten av kvävegödslingen vid ökant mineraliserbart kväve i marken. Man rekommenderar därför att kvävegivan sänks med motsvarande mängd som finns i marken. Resultaten skiljde sig dock åt beroende på vart i landet försöket låg.

Analys av växtmaterial

För att optimera kvävetillförseln behöver plantans kvävestatus följas under säsongen så att eventuell extra kompletteringsgödsling skall kunna utföras i tid. Den säkraste metoden är att mäta % kväve av torrvikten (ts) i bladskaffet, men metoden är dyr och tidskrävande. Det har därför arbetats fram billigare och snabbare mätmetoder som möjliggör mätning av nitratkvävet (NO_3^-) i pressaften från bladskaffet. Flera försök har visat att dessa mätvärden överensstämmer väl med de dyrare ts analyserna [118-122]. Problemet är att sorter skiljer sig åt gällande kritisk kvävenivå i plantan [123, 124] vilket gör att sortspecifika rekommendationer bör användas, något som saknas för många svenska sorter. Några generella riktvärden presenteras dock i figur 7.



Figur 7. Omarbetat diagram från [2]. Riktvärden för nitralter i bladskaffet vid olika utvecklingsstadier.

Vid stor brist eller mycket stor brist behövs det enligt försöken som ligger bakom diagrammet minst 50 kg kväve extra men ofta mer än så [86]. Vid analysvärden som visar på brist är behovet ca 25-50 kg kväve. Vid sena mätningar bör tilläggsgödslingen minska. Är man osäker på resultatet bör mätningen upprepas efter ca en vecka [86]. Den mest lämpliga tidpunkten för provtagning är ca 25-35 dagar efter uppkomst och då bör det senast fullt utvecklade bladskaffet (4:e uppfifrån räknat) analyseras. Allt för tidiga mätningar kan resultera i osäkra resultat, vissa rekommenderar därför att knölnarna bör vara omkring 5 cm när provtagningen görs [122]. Cirka 40 bladskaff bör samlas in över ett representativt område för analys [86].

Viktigt att ta i beaktning är plantans vattenstatus. Välvattnade fält ger ofta plantor med lägre nitralter än torkstressade plantor. Men strax efter nederbörd/bevattning stiger ofta koncentrationen tillfälligt i de tidigare torkstressade plantorna då mer kväve blir tillgängligt för växtens upptag. Hänsyn måste även tas till tidpunkten för mätningen i relation till gödslingsstrategin, det vill säga om delad giva eller radmyllning praktiseras [125, 126].

Det finns även andra redskap så som optiska klorofyllmätare tillgängliga för att mäta kvävestatusen i plantan. Halten klorofyll är ofta nära korrelerat med kvävehalten i växten men vid höga kvävenivåer (mellan 0,5 och 5,5 % N av ts vikten) tenderar dock klorofyllmätarna att underskatta kvävestatusen då mätaren inte reagerar på lyxkonsumtion [127]. Fördelen med mätaren är att mätningarna går snabbt och den ger en mer överskådlig bild av kvävetillgången över tid jämfört med nitraltermätarna som mer ger en ögonblicksbild [128]. Den mest lämpliga tidpunkten för mätning med klorofyllmätaren är när plantan blommar då det finns tid att lägga en kompletterande giva [129]. För att värdena skall kunna tolkas korrekt behöver man antingen ha en noll-kväveruta som referens i fältet [128], eller skapa en liten ruta i fält som helt säkert inte har kvävebrist. Då klorofyllmätaren inte reagerar på lyxkonsumtion kan mätningar i denna ruta användas som ett referensvärde för övriga fältet. Viktigt är också att standardisera mätpunkten och att man använder sig av sortspecifika rekommendationer [130]. Vanligen analyseras 4:e bladet från toppen (det

senast fullt utvecklade bladet). Användningen av snabbmetoder för bestämning av kompletteringsgödsling i potatis kräver en del erfarenhet och utbildning men trots sina svagheter anses snabbmetoder i litteraturen som ett bra hjälpmedel för att styra kompletteringsgödslingen av kväve till potatis [125, 129, 131]. Modeller för kompletteringsgödsling utefter dessa mätningar har arbetats fram men de parametrar som behövs för beräkningarna (till exempel kväveeffektivitet) är ofta svåra att mäta, eller uppskatta [127]. Mer forskning krävs inom detta område.

Ett antal prognosverktyg för kvävestyrning i potatis har även utvecklats [132-134]. Beslutssystemen anses som mycket användbara verktyg men man efterlyser samtidigt forskning som visar implementering i praktiken [57].

Gödslingsstrategier

Potatissorter skiljer sig åt gällande kvävebehov [2, 60, 65, 80, 89, 135-137] på grund av varierande kväveeffektivitet (Producerad biomassa/tillförd mängd kväve). Detta beror dels (I) rotsystemets storlek, (II) hur effektiv roten är på att ta upp kväve och (III) växtens inre kvävebehov. Sorter med ett stort rotsystem och sorter utan bestämd livslängd (sorter som står gröna långt in på hösten om de får vatten och näring) tenderar att ha en högre kväveeffektivitet [135, 138]. Dessa sorter är ofta känsliga för tidig kväveapplicering eftersom det medför en försenad knölsättning [136]. Många sorter har således unika morfologiska egenskaper och utvecklas helt olika, kvävenivån bör därför anpassas efter vilken sort som odlas.

Delad giva

Väl avvägd bevattning och kvävetillförsel är viktig för att minimera miljöpåverkan och för att uppnå hög skörd och bra kvalitet. Upptagningseffektiviteten av kväve kan som tidigare nämnts förbättras genom sänkt grundgiva vid sättning, följt av flera givor under knöltillväxten [37, 70, 139]. Med delad giva minskar risken för att knölsättningen försenas samtidigt som blastlivslängden ökar. Resultat har också visat att risken för kväveläckage ökar med stigande kvävegivor och hög bevattningsintensitet, speciellt om all kväve läggs i samband med sättning på sandiga jordar [70, 95]. Det har också visats att kraftiga regn efter sättning ökar kväveläckaget [88]. Resultaten kring delad kvävegiva är dock inte entydiga när det gäller skördeeffekt även om delad giva i många fall gett positiv effekt [139-141]. En lämplig strategi kan vara att lägga 50 - 70 % av det förväntade kvävebehovet vid sättning och att kompletteringsgödsla 3 - 4 v efter uppkomst. Vid behov kan ytterligare en giva tillföras 2 - 3 veckor senare [86].

Mineralgödsel

Ammoniumsulfat sänker jordens pH vilket gör att det kan vara en god idé att komplettera med kalcium för att undvika ett minskat upptag av flera näringsämnen. Även ammoniumklorid, ammoniumnitrat och urea har en försurande effekt på jorden med en avtagande effekt i den ordning som de anges [142].

Tillförsel av kväve med bevattning

Få studier är utförda under europeiska förhållanden gällande kvävetillförsel i bevattningsvattnet. Majoriteten av de studier som gjorts visar på ett högre kväveutnyttjande och ett minskat kväveläckage om kväve tillförs kontinuerligt under säsong med bevattningen [15, 26, 50, 143, 144]. Det bör tilläggas att bevattnings- och kvävenivåerna är betydligt högre i dessa studier än vad som används i Sverige. Dessutom tillfördes kvävet

i de flesta fall via droppslang vilket är ovanligt i Sverige. Resultaten antyder att det finns en outnyttjad potential.

Stallgödsel

Att tillföra kväve i form av stallgödsel till potatis är vanligt i Sverige idag, speciellt i industripotatisproduktion. Det kan dock vara lite svårt att gödsla optimalt då den faktiska tillgängligheten av kväve under odlingssäsongen är svår att uppskatta, speciellt när det gäller stallgödsel från nöt [145]. Tillgängligheten varierar beroende på vilken typ av stallgödsel som tillförs, vilken jordart den tillförs till och hur årsmånen ser ut. Ojämn spridning kan dessutom leda till variationer inom fältet. Tillgängligheten av kväve i stallgödsel har studerats i många försök under en lång tid, men relativt få studier har gjorts på potatis. På senare tid har dock några ansatser gjorts för att bedöma tillgängligheten av kväve i stallgödsel i jämförelse med handelsgödsel. Slutsatsen antyder att kvävetillgängligheten ligger något lägre för potatis (10 - 40 %) jämfört med andra grödor tack vara sitt begränsade rotsystem [145, 146]. Försök med stallgödsel från fjäderfä har dock visat lika bra eller bättre resultat än handelsgödsel i potatis [71].

Radmyllning/bredspridning

Radgödsling i relation till bredspridning har studerats under många år både i Sverige och utomlands [86, 147-151]. De olika forskargruppernas slutsatser varierar något, vilket troligen beror på olika gödningstyper (fullgödselmedel eller ren kvävegödning), olika gödslingsnivåer, olika potatissorter och att olika bevattningsintensitet har använts. Få studier visar på negativ effekt av radmyllning (förutom sänkt stärkelsehalt) men ett antal redovisar att radgödsling inte medför några positiva effekter [149, 150]. I bästa fall kan dock radmyllning ge en skördeökning på omkring 10 - 15 %. Rent generellt verkar radmyllning ge större skördeeffekter jämfört med bredspridning i kallare områden (Dalarna) [2]. Även torra områden tenderar att ha större nytta av radgödsling [147, 152]. Det samma gäller för stärkelsepotatis där radmyllning kan ge både högre och lägre stärkelseskörd. Generellt så kan man säga att bevattnade fält inte svara lika bra som obevattnade på radmyllning. Då utnyttjandegraden av kväve ofta är högre när man radmyllar [2] finns det risk för en lägre stärkelsehalt om kvävegivan blir för hög. Jordar med högt mineralkväveinnehåll (>100 kg/ha) tenderar också att ge lägre stärkelseskörd om gödningen radmyllas [152, 153]. Radmyllning senare under säsongen har inte visat på någon fördel [2, 153]. Radmyllning av kväve verkar heller inte påverka knölsättningen nämnvärt [2].

Bladgödsling

Kväve tillförs ibland via bladgödsling i samband med bladmögelbehandlingen. Även om ett kväveupptag via bladen är möjligt är upptagningskapaciteten begränsad och relativt små mängder tas upp denna väg. Makronäringsämnen som behövs i stor omfattning ex. N och K brukar man generellt inte rekommendera att bladgödsla annat än i akuta bristsituationer. Kväve tas snabbt och lätt upp av rotsystemet och är mobilt i plantan så en bredspridning under säsong är att föredra i de flesta fall.

Synergi och antagoni

Kalium, Kalcium och magnesium

Kvävegödsling har visats resultera i lägre halter av kalcium och magnesium i bladskaffet, vilket skulle kunna förklaras av en utspädningseffekt då tillväxten ökar vid kvävegödsling. Liknande resultat har även uppmätts för fosfor, järn och Mn [121, 154].

Sulfat, klorid och aluminium

Anjoner som sulfat och klorid används ofta som anjon till ammonium. Studier pekar på att det verkar finnas ett antagonistförhållande där anjonerna verkar bromsa upptaget av kväve [51].

Klorid

Det finns en ömsesidig antagonism mellan kväve och klorid, vid högre kvävegivor minskar kloridhalten i plantan och vid gödsling med kloridbaserade gödselmedel minskar kvävehalten i plantan [154]. Författarna påpekar nödvändigheten att justera kvävegödslingen efter kloridhalten i jorden. Några konkreta rekommendationer uppges inte.

Fosfor (P)

Våra jordar i Sverige innehåller ofta stora mängder fosfor (omkring 1500-2000 kg P/ha [155]) men omkring 80 % är bundet eller fastlagt i olika former [156]. Den vanligaste oorganiska formen som fosfor förekommer i är apatit som är en svårslöslig förening mellan fosfor och andra mineraler. Fosfor kan fastläggas vid både högt och lågt pH. Vid högt pH bildar fosfor svårslösliga föreningar med kalcium [22]. Frigörandet av den fosfor som finns bunden i marken sker dessutom effektivare vid lågt pH och hämmas av kalk [22]. Men redan vid måttliga höjningar > pH 6 försämras upptaget. Det beror på att den form av fosfor som främst tas upp av växterna, H_2PO_4^- , övergår till HPO_4^{2-} som är mycket svårare för växterna att ta upp. Det kan således krävas högre tillförselnivåer av fosfor på jordar med högt pH och dessa jordar brukar också ha en högre buffertkapacitet än andra jordar.

Vid sura markförhållanden bildar fosfor ofta föreningar med järn och aluminium. Den fastläggningen gäller främst löslig oorganisk fosfor som är tillförd med handelsgödsel, fosfor som tillförs i organiska gödselmedel förblir ofta tillgänglig vid låga pH-värden.

Funktion

Potatisplantan har behov av fosfor i ett stabilt flöde då många viktiga processer påverkas av ämnet. Fosfor används vid bland annat uppbyggnaden av kolhydrater och är aktivt i energitransporten där ämnet är en del av både ATP, DNA och RNA samt ingår i cellmembranens fosfolipider. Vid brist går de flesta processer i plantan långsammare; både celledelning, respiration och fotosyntes påverkas [1]. Eftersom fosfor påverkar celledelning och cell expansion beror skördeeffekterna av fosfortillförsel främst på att bladytan blir större och grödan täcker marken tidigt på säsongen.

Upptag

Tydliga symptom på fosforbrist syns sällan i fält. Men de symptom som faktiskt kan visa sig syns inte som man kan förvänta sig på de äldre bladen utan påverkar hela plantans utseende. Plantor med fosforbrist växer saktare och kan upplevas som lägre och kompaktare om de ställs bredvid en välgödslad planta (figur 8). Ibland kan också bladen upplevas mer mörkgröna än normalt och undersidan av bladen och stammarna kan i vissa fall få grå-lila färg. Vid kraftig brist kan bladen även rulla sig uppåt. Skördenedsättning förekommer ofta utan att dessa symptom visas [157-159]. Vissa potatissorter har dessutom mer antocyaniner än andra vilket ger upphov till en naturligt lila färg på

undersidan av bladet. Vid brist på fosfor använder plantan en större del av kolhydraterna som bildas för rottillväxt [160]. Det syns därför ofta större skillnader i tillväxten i blasten jämfört med i roten [1, 161].

Brist uppkommer främst i kalkrika jordar och vid låga temperaturer (under 10° C) [162]. Det är alltså tidigt på säsongen när jorden är kall och plantans rotsystem är dåligt utvecklat som

bristsituationer oftast förekommer [163-165]. De största skördeeffekterna ses därför som regel i sorter som skördas tidigt [166]. En god fosfortillgång kan också ge en tidigare mognad [165, 166], men det finns dock undantag där fosforgödning inte gett den tidigare avmognaden [167]. Det verkar således som att fosforbrist sätter ner tillväxthastigheten hos potatisplantan och gör att grödan behöver något längre tid på sig för att mogna.



Figur 8. Plantan till vänster lider av fosforbrist. Plantan bli kompaktare och bladen lätt upprullade.

Den skördade potatisen för bort ungefär 0,5 kg P/ton potatis vilket motsvarar 25 kg P/ha vid en skörd på 50 ton per ha. Men då plantan vid hög fosforstatus i marken och vid hög gödslingsnivå gärna lyxkonsumerar fosfor kan bortförelsen uppgå till omkring 0,8 kg P/ton. Sortvariationer, årsmånsvariationer och bevattnings gör att bortförelsen lätt kan variera mellan 0,24 till 0,81 kg P/ton [168]. Normalt sett tas ungefär 10-30 % av den för året tillförda fosfor upp och 10-50 % av den fosfor som tas upp kommer från gödningen, resten kommer från jordens buffert [169-171].

Upptagningshastigheten för fosfor ligger betydligt lägre än för exempelvis kväve och kalium. Normalt sett tas ungefär 0,3 kg P/ha/dag upp men upptaget kan variera mellan 0,14 och 0,5 kg. Detta kan jämföras med kväve som har en upptagningshastighet på 1,7 till 5,1 kg/ha/dag eller med kalium som tas upp med en hastighet av 2,6 till 6,9 kg/ha/dag [99]. Den största delen av fosfor tas upp mellan 40-80 dagar efter uppkomst och det är även då som upptagningshastigheten är som högst. Vid avmognad transporteras fosfor från blatt till knöl och vid slutskörd finner man omkring 75-85% av plantans fosfor i knölna [10].

Skördepåverkan

Fosforgödningens effekt på skördenivån har sammanställts i tabellen nedan [4, 167, 172-177]. Generellt kan man säga att fosforgödning påverkar skörden positivt vid låga och medelhöga fosfornivåer i jorden. Vid låg fosforstatus i jorden (klass 1-2) svarar grödan på relativt höga fosfornivåer (> 100 kg P per ha) [178], men vid medelhöga (klass 3 och låg klass 4) fosfornivåer i jorden krävs förhållandevis låga tillförelsenivåer (20-40 kg P/ha) för att tillgodose plantans behov. Innehåller jorden höga fosfornivåer (hög klass 4 eller 5) ger tilläggsgödning sällan några signifikanta skördeeffekter (tabell 7).

Tabell 7. Fosforgödslingens effekt på skördenivån (ton/ha).

Nr Land	År	Sort	Jordens P innehåll	Tillfört fosfor (Kg P/ha)																		
				0	20	27	40	42	45	50	55	60	80	82	90	100	110	120	135	165	180	220
1 Sverige	2008	Sava	P-AL klass III	38,4	39,1		40						43,5	44,7								
2 Sverige	2008	Sava	P-AL klass IV A	59,6	58,8		50					48,1	47,5									
3 Sverige	2008	Sava	P-AL klass IV B	50,3	58,4		55,1					57,4	57,5									
4 Sverige	1987	Matpotatis	P-AL klass III	26,6						29,1					30							
5 Sverige	1988	Fabrikspotatis	P-AL Klass II	41,4			46,9					48,9							53			
6 Sverige	1988	Fabrikspotatis	P-AL Klass III	48,8			57,9					55,1								58,8		
7 Sverige	1988	Fabrikspotatis	P-AL Klass V	46,6			48,3					49,9								48,8		
8 Sverige	1987	Fabrikspotatis	P-AL Klass IV	44,9			43,3					43,3								43,8		
9 Rothansted	1969-74	Flera	Olsen-P 4	21			32				32				36							
10 Rothansted	1969-74	Flera	Olsen-P 7	31			36				40				40							
11 Rothansted	1969-74	Flera	Olsen-P 17	38			42				40				44							
12 Rothansted	1969-74	Flera	Olsen-P 27	39			42				43				44							
13 Rothansted	1969-74	Flera	Olsen-P 30	40			42				45				46							
14 Rothansted	1969-74	Flera	Olsen-P 34	44			45				42				44							
15 Rothansted	1969-74	Flera	Olsen-P 39	43			44				43				45							
16 Rothansted	1969-74	Flera	Olsen-P 40	44			47				43				44							
17 Nottinghamshire	1986-2000	Record	Bray-P 28	56,3			56,1				56,4									58,2		
18 North Yorkshire	1986-2000	Record	?	40			44				40,7									43,8		
19 Hampshire	1986-2000	Pentland Dell	Bray-P 8	21			21,2													23,9		
20 Hampshire	1986-2000	Russet Burbank	Bray-P 32	30			29,8				32,2											
21 Berkshire	1986-2000	Shepody	Bray-P 57	42,7			42,8				41,9											
22 Suffolk	1986-2000	Maris Bard	Bray-P 25	38,4			38,9				39,7											
23 County Durham	1986-2000	Lady Rosetta	?	22			22,1				20,8											
24 Herefordshire	1986-2000	Maris Peer	Bray-P 45	41,2			41,2				37,8									43,8		
25 Cheshire	1986-2000	Estima	Bray-P 14	31,9			42,3				39,3									47,2		
26 Cambridgeshire	1986-2000	Estima	?	62,9							63,7									63,7		
27 Cambridgeshire	1986-2000	Estima	?	71,5							74,5									75,1		
28 Cornwall	1986-2000	Estima	Bray-P 8	52,7							61									68,1		
29 Norfolk	1986-2000	Estima	Bray-P 33								42,6									42,9		
30 Norfolk	1986-2000	Estima	Bray-P 27								58,8									57,6		

Nr Land	År	Sort	Jordens P innehåll	Tillfört fosfor (Kg P/ha)																	
				0	37	42	45	50	65	74	80	82	100	135	150						
31 Norfolk	1986-2000	Estima	Bray-P 45																		
32 Norfolk	1986-2000	Estima	Bray-P 59	64,6																	
33 Norfolk	1986-2000	Estima	Bray-P 22																		36,5
34 Lincolnshire	1986-2000	Estima	Bray-P 11																		35,2
35 Lincolnshire	1986-2000	Estima	Bray-P 30																		35,7
36 Suffolk	1986-2000	Estima	Bray-P 40																		30,9
37 Cambridgeshire	1986-2000	Estima	Bray-P 80	54,7																	53,2
38 Gloucestershire	1986-2000	Nadine	Bray-P 8	34,9																	53,9
39 Minnesota	2001-2003	Russet Burbank	Bray-P 25-33	68,9	74,1	70,0															38,0
40 Stackyard Woburn	1971-1972	?	Olsen-P 18	32,0																	38,0
41 Stackyard Woburn	1971-1972	?	Olsen-P 21	34,0																	41,0
42 Stackyard Woburn	1971-1972	?	Olsen-P 26	38,0																	42,0
43 Stackyard Woburn	1971-1972	?	Olsen-P 34	41,0																	41,0
44 Stackyard Woburn	1971-1972	?	Olsen-P 43	39,0																	38,0

Storleksfördelning

Flera försök har visat att fosfor påverkar knölsättningen [176, 179], men en förutsättning för att knölantalet skall påverkas är att fosforgödslingen också påverkar skördenivån [180]. Det finns således också många försök som inte visar på några effekter på knölsättning [63]. Anledningen till att kölantalet ibland påverkas av fosforgödsling är att fosfor kan bidra till tidig blastutveckling och därmed större bladyta som kan assimilera energi till knölsättningen [166]. För att fosfor skall kunna få någon effekt på knölantalet måste alltså blastutvecklingen tidigt på säsongen (2-3 veckor efter uppkomst) bli kraftigare. Om effekten av fosforgödslingen kommer senare på säsongen får man ingen effekt på knölsättningen men man skulle kunna få en effekt på skördenivån [168]. Ökningen i knölantal beror huvudsakligen på att det blir fler knölar på varje stjälk och inte att antalet stjälkar blir fler [167].

Sjukdomar och kvalitet

Få studier har visat att fosfor påverkar kvalitet eller mottagligheten för sjukdomar [63, 181, 182]. Men några studier antyder att fosfor kan påverka både torrsubstanshalt (ts) och benägenhet för blötkokning [158, 183]. Men generellt sett sker detta endast i de fall då fosfor påverkat skörden. Som nämnts tidigare stimulerar fosfor tillväxthastigheten och potatisen når därför en högre skörd tidigare på säsongen.

Ett problem forskare måste hantera när de gör fosforförsök är att bestämma skördetidpunkt. Oavsett vilken tidpunkt som väljs kommer någon av behandlingarna att skördas vid "fel tidpunkt". Till exempel: En fosforstege ligger utlagd i ett försök och det börjar närma sig skörd. Plantorna som fått en stor mängd fosfor har lämpligt torrsubstans halt och är klara att skördas medan plantorna som fått mindre fosfor skulle behöva växa en eller ett par veckor till för att uppnå lämpligt ts-halt. Hur ska problemet hanteras för att få representativa forskningsresultat? Skördas allt när de välgödslade plantorna är mogna blir resultatet att fosforgödsling ger högre ts-halt och mindre blötkokning. Skulle knölarna skördas senare när de plantor som fått lite fosfor är mogna och plantorna som fått mycket fosfor är övermogna eller rent av nedvisnade kommer man kunna dra slutsatsen att ts-halten inte påverkas nämnvärt och att fosforgödsling ökar benägenheten för att potatisen faller sönder vid kokning. Slutsatsen är därför att fosforgödsling påverkar kvaliteten hos potatis, men det är av ringa betydelse om skördetidpunkten anpassas efter mognadsgraden.

Lagringsduglighet

Få försök är utförda inom detta område men det som finns antyder att låga kväve- och kaliumnivåer samt höga fosfornivåer gav de lägsta viktminskningarna [184]. Man förklarade detta genom att storleken på knölarna, det vill säga ytan som avdunstar, var större på det välgödslade potatisen och att plantor som gödslats med låga koncentrationer kväve och kalium och mycket fosfor blev relativt småfallande. Det bör också tilläggas att skörden i detta fall var låg [184]. En annan förklaring skulle kunna vara att fosforgödsling ger ett tjockare skal vilket har visats i gamla försök [185]. Ett visst samband mellan fosforgödsling och brunröta har också påvisats där en högre fosforgiva resulterat i mindre angrepp [110]. Även detta skulle kunna förklaras av ett tjockare skal [109]. Fler lagringsförsök behövs dock för att några rekommendationer skall kunna ges.

Analysmetod

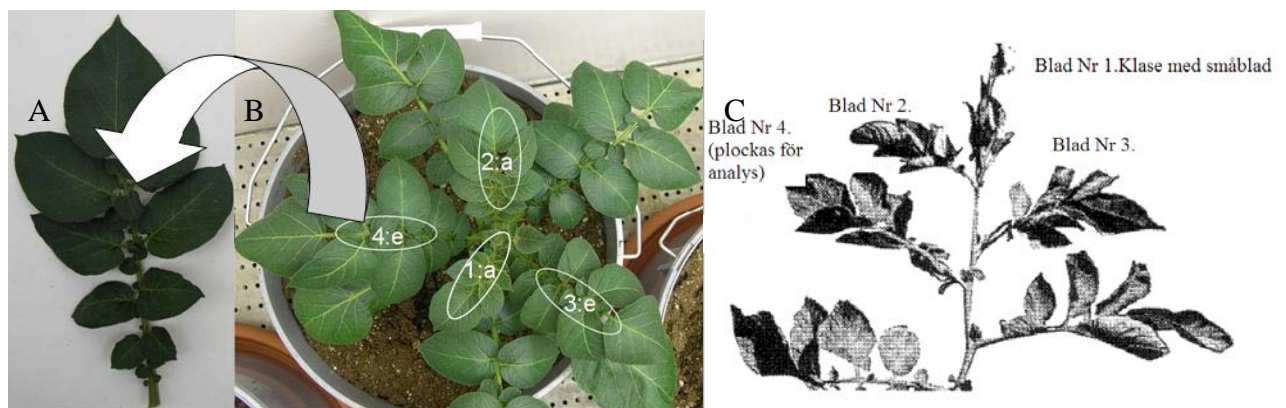
Som tabellen 7 visar används flera olika analysmetoder för att mäta jordens fosforinnehåll. I Europa har praktiskt taget varje land en egen analysmetod, vilket ibland gör det svårt att tolka internationella forskningsresultat. På senare tid har det dock forskats fram metoder för att konvertera P-AL tal till Olsen-P vilket underlättar arbetet [186].

Jordanalyser

I en jämförande studie testades 16 metoder för att bestämma jordens fosforinnehåll. Resultaten visade att alla metoder gav högre värden med stigande gödsling men att stora variationer mellan metoderna finns. Den visade även att kopplingen mellan jordens fosforinnehåll och skördeeffekt var svag [187]. I en utvidgad tolkning av P-AL metoden för skördeanpassad fosforgödsling i Sverige drog man slutsatsen att markens pH värde samt mullhalt påverkade effekterna av fosforgödsling (förutom P-AL) och att de bör tas i beaktning. Bäst korrelation mellan P-AL och skördeutfall hade man då mullhalten var över 3 %, lerhalten under 15 % och med pH värden under 6,5 [188]. I en australiensisk studie där man tittade på skördeeffekterna av fosfor i potatis på 33 fält drog man slutsatsen att jordanalyser kan användas för att förutsäga skördeeffekterna av fosfor. Men för att detta skall vara möjligt måste jordarna klassificeras och riktvärdena anpassas efter detta. Dessutom måste jordens buffertkapacitet tas i beaktning för att skördeeffekterna skall kunna förutspås [189].

Växtanalyser

Analyser av plantans fosforkoncentration kan användas för att anpassa fosforgödslingen i potatis. Många studier har gjorts för att fastställa lämpliga riktvärden för olika plantdelar vid olika tidpunkter under säsongen [9]. Analyser kan göras av knölar, blad, bladskäft, stammar och både lösligt fosfor och totalt fosforupptag kan mätas [190]. Det vanligaste är dock att man mäter bladskäftets totalinnehåll av fosfor ca 20-25 dagar efter uppkomst vilket också är den analysmetod som är bäst korrelerad med skördeeffekten [191] (figur 9). Den optimala fosforkoncentrationen i bladskäftet varierar kraftigt beroende på vilka sorter som testas och vilka förutsättningar de odlas under. Därför varierar riktvärdena och olika referenser ger olika sanningar. Men den optimala koncentrationen i bladskäftet bör i alla fall ligga mellan 0,22-0,75 % fosfor av torrsubstansen [192]. I Washington rekommenderar analysföretagen att koncentrationen bör ligga mellan 0,6-0,8 % och att en kompletterande giva bör läggas om värdet sjunker under 0,4 % [181]. Sammanfattar man den forskning som gjorts så ligger de flesta inom intervallet 0,30 - 0,55 % P (ts) vilket också kan ses som lämpliga riktvärden [171, 193, 194].



Figur 9. A) Visar hur bladen skall se ut som skickas till analys, om bladskäftet skall analyseras tas bladen bort. B och C) Visar hur bladen räknas. Det är det 4:e bladet räknat uppifrån som skall analyseras.

Gödslingsstrategi

Potatis har länge ansetts som en fosforkrävande gröda och är fortfarande idag en av de grödor som har högst gödslingsrekommendationer i Sverige. Detta trots att Jordbruksverket sänkt sina fosforrekommendationer för potatis motsvarande omkring 20-60 % (beroende på fosforklass) sedan 2007 [3, 195]. Denna sänkning innebär rent ekonomiskt en besparing på 10-15 miljoner för de svenska potatisodlarna årligen vilket vittnar om fosfors betydelse för odlingsekonomin. Men att gödsla rätt är inte bara viktigt ur ett ekonomiskt perspektiv, det är dessutom av yttersta vikt att fosfor används så effektivt som möjligt då fosfor är en ändlig resurs som vi är helt beroende av för att producera livsmedel med hög produktivitet. Det faktum att fosforläckage från jordbruksmark leder till algbloomning och miljöförstöring tydliggör också vikten av ett effektivt fosforanvändande. [196, 197].

Sortskillnader

Olika potatissorter skiljer sig åt gällande gödslingsbehov av fosfor [161, 165, 166, 182, 194, 198, 199] och ofta används uttrycket fosforeffektivitet för att beskriva skillnaden. Fosforeffektiviteten beräknas med hjälp av två parametrar; 1) utnyttjandeeffektivitet, vilket

kan beskrivas som sortens förmåga att producera skörd utifrån en given mängd fosfor som tagits upp i plantan, som i sin tur kan beskrivas som ett slags mått på hur effektivt plantan använder upptagen fosfor, 2) upptagningseffektivitet, det vill säga plantans (rotens) förmåga att ta upp fosfor [200]. Forskare från Indien har studerat sortskillnader och kommit fram till att det främst är sortens förmåga att ta upp fosfor från jorden som skiljer sig åt. Till vissa sorter i studien behövde man tillföra nästan dubbelt så mycket fosfor för att de skulle uppnå samma koncentration i växten. Detta på grund av sortens förmåga att ta upp fosfor per rotenhet var lägre än hos de andra sorterna i studien [198]. Men andra försök har visat att både sorters förmåga att ta upp fosfor samt sortens förmåga att använda den upptagna fosfor kan skilja sig åt [161]. Olika sorter behöver alltså olika hög koncentration av fosfor i plantan för att växa optimalt. Det finns därför anledning att studera hur svenska sorter skiljer sig åt gällande fosforgödning för att bättre kunna anpassa rekommendationerna. Det gäller såväl tillförselnivåer som riktlinjer för näringsanalyser av växtmaterial.

Startgiva/radgödning

Det råder skilda meningar kring huruvida radgödning eller bredspridning är det bästa gödslingsalternativet. Många försök visar att radmyllning ger en bättre effektivitet och att man uppnår samma skörd med lägre nivåer [168, 170]. I ett norskt försök från 70-talet med radioaktiv fosfor studerade man bredspridning och radmyllning i kombination med bevattning. Försöket visade att radmyllning gav ett nära dubbelt så stort upptag av fosfor och att skillnaderna var större under torra förhållanden än under välvattnade. Försöket visade även att fosforeffektiviteten ökade från 1-5 % vid bredspridning till 5-9 % vid radgödning. Det var dock inga signifikanta skillnader i skörd mellan bredspridd och radmyllad fosfor [170]. Men det finns även motstridiga försök från Australien som visar att man kan uppnå en högre skörd vid bredspridning än radmyllning vid höga tillförselnivåer. Detta förklarar man med att plantorna som fått radmyllad gödning fått för mycket fosfor och därmed blivit stressade [201].

Som tidigare nämnts är det tidigt på säsongen när jorden är kall och plantans rotsystem är begränsat som man oftast ser en effekt av fosforgödning. När jorden är kall minskar dess förmåga att frigöra fosfor till markvätskan. Detta beror främst på att när markvätskan är kall kan en mindre mängd fosfor lösas i den. Temperaturen har däremot mindre påverkan på plantans förmåga att ta upp fosfor vilket gör det möjligt att med hjälp av en startgiva av fosfor få in mer fosfor i växten som den sedan kan dra nytta av när temperaturen stiger och tillväxten sätter igång [202]. Att lägga en startgiva är därför mest lämpligt då tidig skörd är av stor vikt, exempelvis vid produktion av färskpotatis. Detta då skillnaderna ofta jämnas ut senare på säsongen [164]. Störst chans att få en skördeökning till följd av radmyllad fosfor har man på jordar med hög buffertkapacitet [201].

Betning med fosfor

Försök med att doppa sättpotatisen i en svag fosforlösning innan sättning har testats med framgång. Om utsädesknölnarna doppades i en 1,5 % lösning med superfosfat samt 0,5 % urea gav det samma effekt som 22 kg P tillfört till jorden [203]. Metoden har inte uppmärksamats vidare trots goda resultat.

Flytande via droppslang

De publikationer som finns om fosfortillförsel genom droppslang antyder att man kan uppnå betydligt högre upptagningseffektivitet om gödningen tillförs i flytande form under

växtsäsongen [204]. Normalt sett tas ungefär 10-20 % av tillförd fosfor upp av plantan men i försök med näringsbevattnings har man nått närmare 45 % [205].

Bladgödsling

Bladgödsling av fosfor i potatis har praktiserats i årtionden och testats av olika forskningsstationer och institut världen över. Det har konstaterats att fosfor tas upp genom bladen och att det transporteras ner till resten av plantan [206, 207], men fortfarande är forskare oense om huruvida åtgärden kan rekommenderas eller inte. På 70-talet utvecklade Vaidyanathan en hypotes om att fosfor skulle vara begränsande under knölnitieringen och att man med hjälp av bladgödsling kunde få fler knölar. Forskning visade på små öknings i knölantal med hjälp av bladgödsling men på senare år har hans statistiska beräkningar ifrågasatts. Om antalet knölar per planta ökar borde rimligtvis andelen stora potatisar minska, men motstridiga forskningsresultat har publicerats där andelen stora knölar ökat till följd av bladgödsling [208]. I Sverige har det utförts 20 försök med bladgödsling mellan åren 1991-2002 för att se om knölsättningen gick att påverka. Resultaten visar inte på några effekter i knölsättning [209-211]. Dawson (1993) fick fler knölar i två utav tre av sina försök med bladgödsling vilket kanske visar, att man om något, får mindre knölar vid bladgödsling [212].

På senare år har Allison *et al.* (2001) undersökt fosfortillförsel och dragit slutsatsen att bladgödsling inte är rimligt att rekommendera. Forskningsgruppen undersökte bladgödsling i sex olika försök varav inget visade på någon som helt effekt vare sig på skörd eller på knölsättning, detta trots att några av jordarna hade mycket låga fosforvärden och ingen fosfor tillfördes till marken. Ytterligare motiv till att inte rekommendera bladgödsling är att man, för att kunna få någon effekt på knölsättningen, är tvungen att spruta mycket tidigt på säsongen (1-2 veckor efter uppkomst). Då är blastutvecklingen mycket begränsad och större delen av sprutvätskan hamnar på marken [167].

I en sammanställning av 49 fältförsök som gjordes år 1993 av Johnson och Vaidyanathan gav bladgödsling en genomsnittlig skördeökning på 2,58 ton. I samma studie visade 23 % av försöken noll eller negativ effekt till följd av bladgödsling. I den mest omfattande svenska försöksserien gällande bladgödsling av fosfor i potatis ingick som tidigare nämnts totalt 20 försök. Inget av dessa försök visade på någon signifikant skördeeffekt men medelskörden för de behandlade leden var något högre (drygt 2 %). Då de bladgödslingsmedel som användes innehöll andra näringsämnen förutom fosfor är det omöjligt att härleda skördeeffekten till fosfor [209].

Anledningen till att resultaten varierar så pass mycket kan bero på flera faktorer som till exempel väderförhållanden vid besprutningstillfället, koncentration av sprutvätskan, vätskemängd och täckningsgrad. För att klargöra när bladgödsling faktiskt har en effekt gjordes ett försök i Biotronen på Alnarp 2007 [179]. Försöket visade att plantans vattenstatus var av stor betydelse för hur bladgödslingen fungerade. Man rekommenderade därför att bevattnings borde schemaläggas innan bladgödslingen utförs.

I en omfattande sammanställning från The Department for Environment, Food and Rural Affairs DEFRA [168] genomlyste man bladgödsling av fosfor i potatis och drog slutsatsen att det är överskattat och att man inte bör forska mer på området.

Sammanfattningsvis rekommenderas att bladgödsling med fosfor endast bör utföras i de fall där man har en dokumenterad fosforbrist och då grödan är välförsedd med vatten. Det

kan exempelvis vara i kalla mulljordar med högt pH eller andra jordar med hög buffertkapacitet av fosfor, där det annars krävs mycket höga tillförselnivåer av fosfor. I de fall där bladgödsling tillämpas bör dess effekt inte överskattas. En fosfortillförsel till marken på 50 kg P/ha ger i bästa fall en skördeökning på omkring 5-10 %. Då fosfor via bladgödsling tillförs i små mängder (2-4 kg/ha) är en skördeeffekt på mer än en eller max ett par procent inte troligt. Inga referenser har hittats som har kunnat påvisa att bladgödsling av fosfor påverkar kvaliteten på potatisen i positiv riktning.

Stallgödsel

Att tillföra organiskt material så som stallgödsel till jorden är ofta positivt. Högre mullhalt leder till högre tillgänglighet av fosfor på grund av att en större del av markens fastlagda fosfor blir tillgänglig. Detta beror dels på att organiskt material binds till markpartiklarna där fosfor annars skulle fastläggas och dels på att organiskt material binder Al och Fe [213]. En högre mullhalt ger också bättre markstruktur och ökar jordens förmåga att hålla vatten.

Nackdelen med att tillföra stallgödsel till potatis är att den sällan innehåller de rätta proportionerna av NPK som potatisplantan behöver. Som ett exempel innehåller många typer av stallgödsel alldeles för höga fosfornivåer vilket kraftigt ökar risken för läckage. Vidare så är det ofta svårt veta när under växtodlingssäsongen växtnäringen frigörs.

Gödsling på jordar med högt eller lågt pH

I jordar med högt pH och hög halt av kalcium kan det krävas stora mängder bredspridd fosfor för att tillgodose potatisens behov [178]. Under sådana förhållanden är det lämpligt att i stället tillämpa speciella gödslingsstrategier så som, 1) radgödsling, 2) använda komplexa fosformedel som inte fastläggs i jorden lika lätt, 3) använda så kallade "slow release" gödselmedel, 4) tillföra fosfor under växtsäsongen eller 5) radmylla surgörande ammoniumkväve tillsammans med fosfor [181, 214].

Det har gjorts en del kalkningsförsök i både utlandet och i Sverige där man försökt öka tillgängligheten av fosfor i potatis på sura jordar. Försöken har inte visat att man kan få bättre effekt av fosforgödslingen med den metoden, kalk i sig har inte heller påverkat skörden signifikant [173, 182].

Markfuktens inflytande på upptaget

Bevattning gör generellt att upptaget av fosfor ökar [170]. Gamla försök [163] har visat att man kan öka upptaget av fosfor med ca 50 % genom att bevattna fälten vilket främst beror på att upptagningshastigheten (diffusionshastigheten) ökar då jorden är fuktig. Som en följd av detta når bevattnade fält sin högsta upptagningshastighet tidigare än obevattnade fält. Med radioaktiva isotoper har det kunnat klarläggas huruvida bevattning stimulerar upptag av markbundet fosfor och/eller nytillförd fosfor. I försöket ingick även radgödsling och bredspridning som behandlingar. De slutsatser man kunnat dra tyder på att det främst är upptaget av markbundet fosfor som stimuleras av bevattning om gödningen radmyllas. Om däremot gödningen bredsprids och myllas in i jorden kommer ökningen i fosforupptaget främst från den gödsel som tillförts [163]. Det skulle kunna förklaras av att en större del av rotsystemet får kontakt med gödningen om den bredsprids jämfört med om den radmyllas.

Gödslingsrekommendationer

Jordbruksverkets rekommendationer för fosfortillförsel i potatis börja sedan korrigeringsarna gjordes 2007 och 2009 närma sig lämpliga nivåer (figur 10). Det som skulle kunna ifrågasättas är rekommendationerna för de lägsta fosforklasserna där det kan krävas mer än 100 kg P per hektar för att uppnå full skörd [178]. Vidare beräknas siffrorna utifrån en skördenivå på 30 ton och man skriver att 5 kg fosfor per 10 ton potatis bör läggas till rekommendationen om en högre skördenivå eftersträvas. Detta för att följa den så kallade ersättningsprincipen som innebär att man skall tillföra samma mängd som bortförs.

Då en klass V jord löper större risk för växtnäringsläckage och lyxkonsumtion, och en klass IV B jord innehåller fullt tillräckligt med fosfor för att tillgodose potatisplantans behov kan det ifrågasättas om ersättningsprincipen bör tillämpas i de högre klasserna [215].

Tabell 22. Riktgivor för fosforgödsling till olika grödor

Gröda	Skörde- nivå, ton/ha	Bortförsel av P, kg/ha	Rekommenderad fosforgiva, kg/ha					
			P-AL-klass					
			I	II	III	IV A	IV B	V
Vårsäd	5	17	25	20	15	5	0	0
Höstsäd	6	19	25	20	15	5	0	0
Våröjväxter	2	12	25	20	15	10	0	0
Höstöjväxter	3,5	21	35	30	25	15	0	0
Slättervall, ts	6	14	25	15	10	0	0	0
Fodermajs*, ts	10	26	50	45	40	30	15	15
Potatis*	30	15	70	50	40	30	15	15
sockerbeter	45	18	35	30	25	20	15	0
Ärtor/äkerböna	3,5	13	25	20	15	5	0	0
Betesvall på åker			15	5	0	0	0	0

*rekommenderad giva räcker till en efterföljande gröda

Figur 10. Jordbruksverkets rekommendationer för fosfortillförsel i potatis [3].

Synergi och antagoni

Kväve och kalium

Både kväve och kaliumgödsling har visat sig kunna påverka fosforupptaget. Bland annat har man sett att en ökning av kvävegödslingen från 67 till 202 kg N/ha ökade fosforkoncentrationen i bladskaffet från 0,3 % till 0,37 % i en sort och från 0,38 % till 0,44 % i en annan sort [194]. Anledningen till att fosforkoncentrationen ökar vid tillförsel av kväve har diskuterats och det finns lite olika förklaringar. Dels kan gödsling av ammonium frigöra fosfor från marken då det har en surgörande effekt [214], och dels kan den ökade tillväxten som sker till följd av kvävegödsling, gynna upptaget av fosfor då rotsystemet blir större och den ljusassimilerande bladytan ökar [216]. Kaliumgödsling kan i de fall då det påverkar skörden sänka koncentrationen av fosfor. Det förklaras av att det sker en utspädning av fosfor i plantan [194].

Koppar och zink

Det har också rapporterats att fosfor kan bromsa upptaget av koppar- och zinkbrist i vissa växter [54]. Då fosfor primärt inte reagerar med dessa ämnen i jorden skulle bristsituationen kunna uppstå på grund av att fosfor ökar tillväxthastigheten och därmed behovet av koppar och zink. Men då planttillgängligt fosfor, alltså löst fosfor eller orthofosfat är negativt laddad och zink och kopparjonerna är positivt laddade kan även fastläggning vara ett orsak till bristsituationen [53].

Kalium (K)

Kalium återfinns i mineral som till exempel kaolinit, biotit och smektit [217, 218]. Genom vittring tillförs kalium till jordens fraktioner av svårt- och så småningom lättlösligt kalium

[217]. I mineraljordar är kalium ett av de vanligast förekommande makronäringsämnen. Beroende på jordart finns mellan 0,3 till 10 ton K/ha i plogdjupet [33].

Fixerat i lermineralstrukturen finns svårslösligt kalium (K-HCl). Lättlösligt kalium (K-AL) finns associerat till lerkolloiderna, i organiska föreningar och löst i markvätskan [5]. Andelen kalium löst i markvätskan är liten men denna fraktion står genom jämviktsreaktioner i direkt kontakt med övriga kaliumfraktioner i jorden [33]. När växten tar upp kalium förskjuts jämviktsreaktionerna långsamt och mer kalium frigörs till markvätskan [217].

Ämnet kan fastläggas i marken och bli svårtillgängligt för plantan vid högt pH, hög lerhalt [46, 219] och vid låg markfukt [5]. Högre koncentrationer av kalium behöver därför tillsättas till de jordar som kalkas frikostigt [5]. En packad jord ger försämrad rottillväxt, vilket i sin tur leder till ett minskat kaliumupptag och ökat gödslingsbehov [220].

Kalium binder i mycket liten utsträckning till kolloider [31]. Det gör att organogena jordar som har lågt lerinnehåll ofta är fattiga på kalium [5]. Det kan också vanligt att potatis som odlas på lätta sandjordar uppvisar kaliumbrist, vilket beror på utlakningsrisk vid lågt mark-pH och surt regn [46, 221]. Låg kaliumnivå i marken riskerar även att uppstå då potatis odlas efter en långvarig gräsvall [55].

Funktion

Kalium förekommer i jonform som K^+ och är viktig som kofaktor i mer än 40 olika enzymer i plantan. Ämnet aktiverar bland annat många enzymer involverade i respiration och fotosyntes. Kaliumjonen är även den viktigaste katjonen som används för att reglera den osmotiska potentialen i växtcellen [23]. Regleringen sker genom ett jämviktsflöde av positivt och negativt laddade joner och saftspänningen styrs av en balans mellan salter och vatten. Kaliums roll för regleringen av klyvöppningarna gör att det första tecknet på kaliumbrist ofta är att växten börjar sloka varma sommardagar liksom att frosttoleransen försämras [222, 223].

Då kalium inte ingår i några organiska föreningar i plantan är detta växtnäringsämne det mest lätttrörliga och en viktig transportör av andra joner genom växtens olika membran. Kaliumets lätttrörliga egenskaper gör att bristsymptom oftast uppträder på lite äldre blad [1]. Det första symptomet kan ses som fläckig kloros som oftast uppträder längs bladets kanter (figur 11).



Figur 11. Kaliumbrist. Symptomen syns först på äldre blad som får bruna bladkanter.

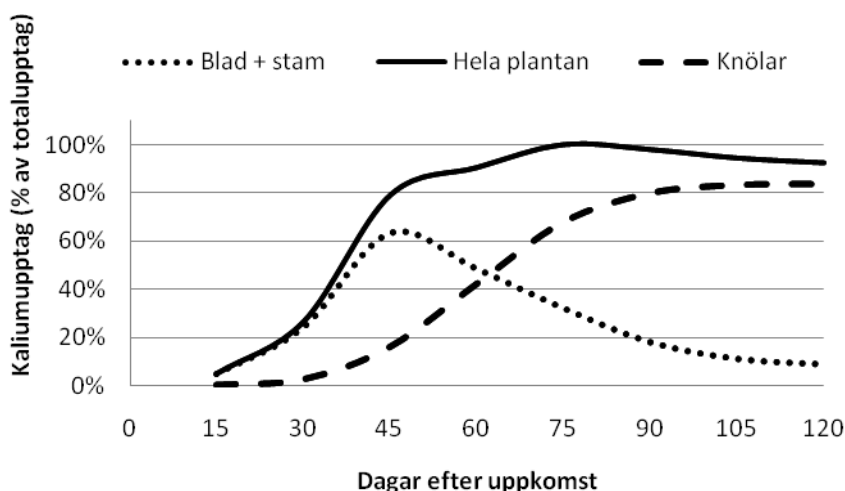
Därefter dör vävnaden och symptomet sprider sig till bladnerverna och bladbasen. I vissa fall blir de äldre bladen även vågiga och stammen kan bli tunn och svag, med onormalt korta internoder [23]. Som regel syns inga bristsymptom tidigt på säsongen utan

framträder först under knöltillväxten [165]. Vid kaliumbrist minskar bladets friska yta vilket bidrar till en minskad skörd [39]. Eftersom ämnet kan transporteras till vakuolen är det ovanligt att se toxiska effekter av en för hög gödsling på plantan. Det gör att upptaget kan vara högt utan att ge någon skördeökning, så kallad lyxkonsumtion [20]. På grund av kaliums roll som transportör har kaliumbrist bland annat stor betydelse för fördelning av socker i plantans vävnad och syntes av stärkelse i potatisknölen [1, 217, 224]. Potatis är förhållandevis stärkelserik och behöver därför en relativt stor mängd kalium för optimal tillväxt jämfört med många andra lantbruksgrödor [224]. Det gör att gödslingsrekommendationerna ligger bland de högsta för just potatis [7].

Upptag

Upptagningskurvan för kalium påminner mycket den för kväve. Största delen av upptaget sker till blasten tidigt på säsongen, för att senare under säsong förflyttas till knölarna. Det som skiljer verkar framförallt vara att upptaget av kalium sker något tidigare på säsongen än för kväve. Så mycket som 50 % av hela kaliumupptaget i potatisen sker under den första tredjedelen av växtsäsongen [5] men hur mycket kalium som tas upp beror på potatissorten [225, 226].

Vid omkring 30 dagar efter uppkomst är upptagningshastigheten som högst och kan då ligga kring två till fyra kilo per hektar och dag, se figur 12. Totalt tar en potatisgröda upp omkring 200 kg kalium varav ca 80 % återfinns i knölen vid slutskörd [165].



Figur 12. Generaliserad bild över kaliumupptaget i potatis över tid. Y-axeln anger hur många procent av totalupptaget som tagits upp [9, 10].

Upptaget påverkas också som tidigare nämnts av markfukten. Försök har visat att det räcker om kaliumkoncentrationen i markvätskan är en tiondel så stor om markfukten höjs från 15 till 33 volymprocent vatten [227]. Det innebär att bevattnade jordar sannolikt behöver mindre tillsatser av kalium. Med tanke på att de flesta försök som ligger till grund för dagens kaliumrekommendationer är utförda på obevattnade fält på 60 till 70-talet behövs mer forskning inom detta område.

Läckage

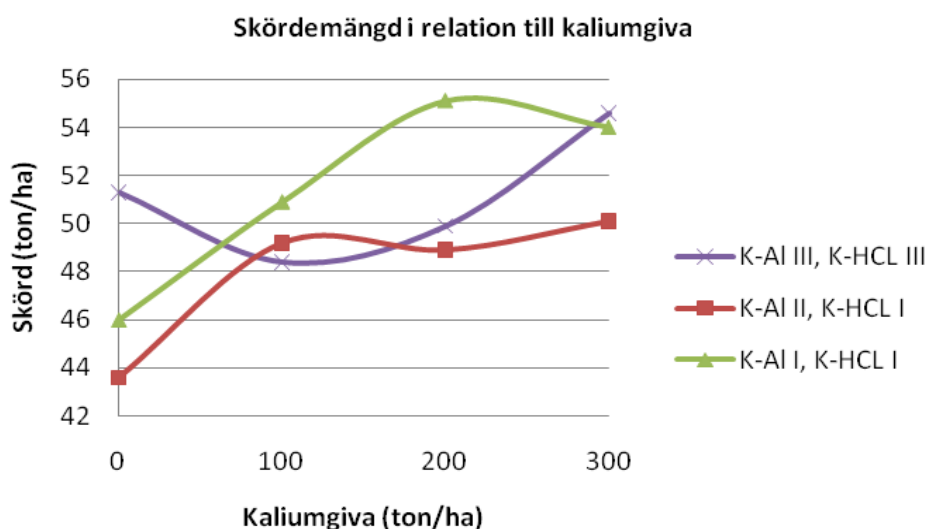
Det kalium som inte tas upp av grödan riskerar att läcka ut till omgivande vattendrag [221]. Omkring 50 kg K/ ha kan årligen lakas ur genom dräneringsvattnet i tempererade odlingsklimat. Utlakningsrisken ökar vid hög kvävegödsling eftersom K^+ och NO_3^- binder till varandra och riskerar att transporteras bort. Risken för läckage är störst på sandjordar med grov struktur eftersom det inte finns så många laddade bindningspunkter som i en lerjord [33].

Skördepåverkan

Skördenivå och storleksfördelning

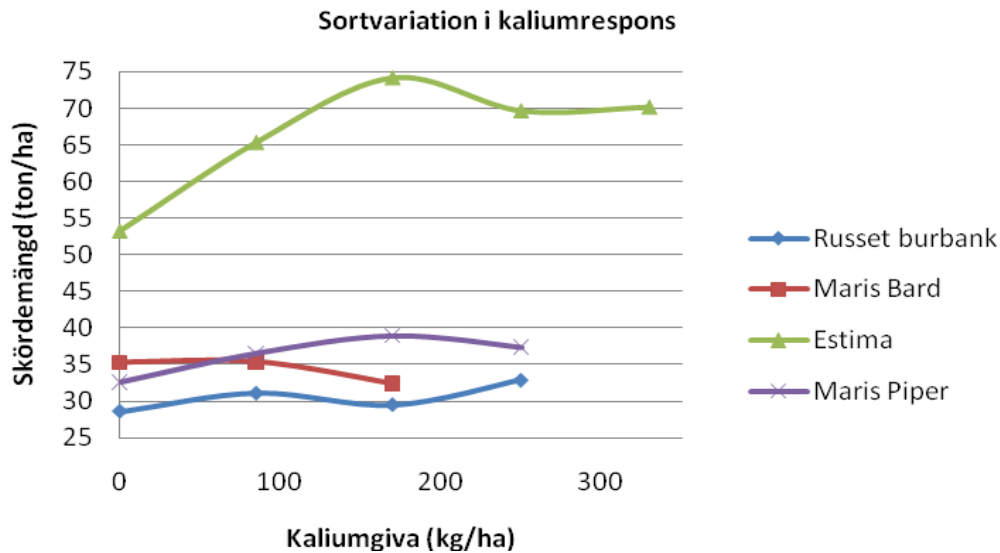
Kaliumgödsling påverkar skörden i betydligt mindre utsträckning än kväve. Skördeökningarna ligger i storleksordningen kring 20-50 kg potatis per hektar per kg tillförd kalium för de första 100 kilona som tillförs. Därefter avtar effekten för att närma sig noll kring 200 kg K/ha [6]. På jordar med låga kaliumklasser kan dock skördeeffekter ses även vid givor över 200 kg K/ha. På jordar med höga kaliumklasser svarar plantan sällan på extra tillförsel av kalium [228].

En av de senaste svenska studierna kring kalium och potatis gjordes i slutet av 80-talet på stärkelsepotatis. Resultaten varierade mellan åren och var inte alla gånger lätta att förklara. I de första två försöken som gjordes 1987 visade kaliumgödsling på marginella effekter. En stegring av kaliumgivan från 0 till 100 medförde ca 1 ton högre skörd och något sänkt stärkelsehalt vilket medförde att noll-ledet gav högst stärkelseskörd. Det bör tilläggas att försöken låg på jordar med kaliumklass 3-4. Året därpå lades försöken ut på jordar med lägre kaliumklasser och skördeeffekterna blev då också större. På jorden med lägst K-Al- och K-HCL klass ökade skörden upp till 200 kg kalium/ha. I jorden med K-Al II ökade dock inte skörden efter 100 kg K/ha trots att jordens K-HCL förråd var mycket lågt även i det här fallet. I jorden med K-Al III minskade skörden med stigande kaliumgödsling upp till ca 150 kg K för att sedan öka upp till 300 kg/ha, se figur 13 [4]. I andra försök har skördeökningar uppmätas till 125-160 kg K/ha. [225, 229].



Figur 13. Skördemängd (ton/ha) beror bland annat på kaliumgivan och jordens innehåll av kalium. Modifierad från [4].

Stor variation finns också mellan hur potatissorter svarar på olika kaliumgivor, vilket beror på rotsystemets längd och dess upptagningseffektivitet, se figur 14 [6, 165, 226, 230].



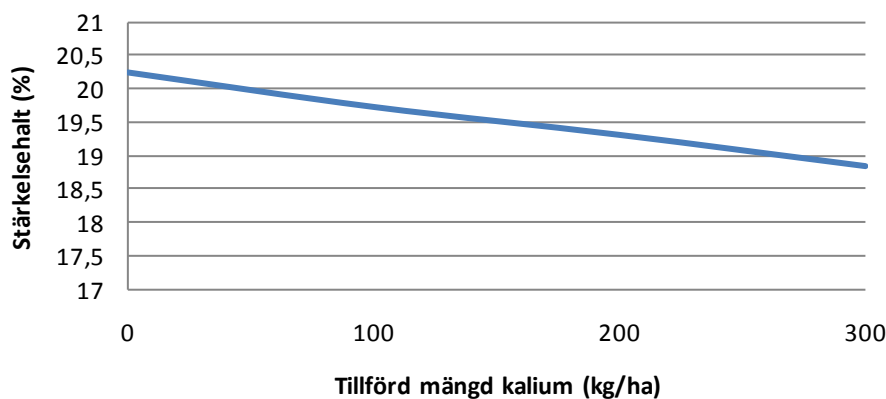
Figur 14. Det är stor variation mellan olika sorters skörderespons (ton/ha) på kaliumgivan (kg/ha). Modifierad från [6].

Storleksfördelning

Liksom för kväve är det främst storleken på knölna som ökar vid kaliumgödsling [231]. I en amerikansk studie har det observerats att antal stora knölar (170-370 g) ökat då man använder sig av K_2SO_4 i jämförelse med KCl [232]. I Australien har det observerats en ökning i storlek även då KCl använts [230]. Större knölar har man även fått när man radmyllat 160-187 kg K/ha i stället för att bredsprida vilket kan förklaras av dels en högre tillgänglighet av den radmyllade gödningen och dels av att antalet stjälkar minskat på grund av för hög salthalt. [225, 229, 233].

Stärkelseinnehåll

Överdriven kaliumgödsling riskerar att sänka torrvikten (ts), försena uppkomsten och minska antalet stjälkar per knöl [4, 232, 234], se figur 15. Sänkt stärkelsehalt kan vara en nackdel för både potatismottillverkning och stärkelseproduktion. Effekten har varit mest uppenbar då kalium tillförts i form av kaliumklorid samt då kaliumgivan överstigit potatisens behov för optimal tillväxt [89, 194]. Den kritiska nivån för sänkt stärkelsehalt verkar gälla om nivån överstiger 20-25 mg/g ts i knölna enligt Marschner och Krauss (1980) [235]. Det har förklarats med att det finns ett osmotiskt optimum för stärkelsesyntesen [236].



Figur 15. Stärkelsehalten kan minska när kaliumgivan ökas, medeltal av 5 försök [4].

Kaliumsulfat verkar i de flesta försök påverka ts-halten i mindre utsträckning än kaliumklorid [237]. Haeder (1976) förklarar den positiva effekten av K_2SO_4 på stärkelseinnehållet med en större transport av assimilater än vid gödning med KCl [235]. Det finns dock ett flertal försök där kloridgödselmedel inte sänkte stärkelsehalten mer än kaliumsulfat [238, 239].

Vid bristsituationer höjer som regel kaliumgödning stärkelsehalten [194, 222, 230] men det rekommenderas att inte överstiga 210 kg K/ha även om marken innehåller låga nivåer av kalium (< 120 mg utbytbar K/l) [6].

Sjukdomar och kvalitet

Att kalium i vissa fall kan påverka kvaliteten hos potatisen har varit känt sedan länge och det är också den kanske främsta anledningen till att stora kaliumgivor tillförs till matpotatis. Det som framförallt lyfts fram som kaliumrelaterade kvalitetsförbättringar är minskad stötkänslighet samt minska problem med mörkfärgning. En omfattande litteraturgenomgång gjord på senare år har visat att kvalitetseffekterna av kaliumgödning är långt ifrån entydig. I många fall har inte kaliumgödning gett några positiva kvalitetseffekter och man hävdar att tillförselnivåer som ligger högre än vad som behövs för optimal skörd med stor sannolikhet inte kommer medföra några positiva kvalitetseffekter [6].

Mörkfärgning

Mörkfärgning är ett vanligt kvalitetsfel som orsakas av järn och orto-di-fenoler (klorogensyra och kaffesyra) som oxiderar efter kokning till trevärt järn vilket ger upphov till den mörka färgen. Uppkomsten av mörkfärgning motverkas av organiska syror så som citronsyra [240]. Citratinnehållet styrs till viss del av kaliumnivån [241]. Knölar som försetts med mer kalium tenderar att innehålla höga halter citronsyra som då formar osynliga järnkomplex, vilket minskar problemet med mörkfärgningen [4, 39]. Det förekommer ingen mörkfärgning när klorogensyran är tillräckligt låg och innehållet av citrat är högt. Olika sorter producerar olika mycket citrat och klorogensyra vilket medför att känsligheten för mörkfärgning varierar med sort.

Generellt sett är mörkfärgning mindre vanligt på lerjordar än på till exempel mulljord och sandjordar, vilket beror på tillgängligheten av kväve och kalium i relation till varandra [4, 39].

Mörkfärgning vid chipstillverkning är ett annat vanligt problem som orsakas av ett brunt meladonin pigment. För att pigmentet skall kunna bildas behövs reducerande socker. En hög halt av reducerande socker tillsammans med en låg stärkelsehalt som kan orsakas av för låg kaliumgiva ökar benägenheten för mörkfärgning vid fritering [242].

Blötkokning

Då kalium kan sänka ts-halten påverkas självfallet också kokkvaliteten. Hög kaliumgiva kan således öka risken för blötkokning samtidigt som risken för sönderkokning minskar [4]. Detta kan vara både positivt och negativt beroende på vad potatisen skall användas till.

Svampangrepp

Vid brist på kalium sker en ackumulering av enzymer, enkla kolhydrater och kväveföreningar vilket påverkar växtens motståndskraft mot svampangrepp [1, 217]. De sjukdomar som kaliumgödsling kan bidra till att motverka är, bladmögel, fusarium, pulverskorv och alternaria [1, 223].

Mekaniska skador

Kaliumklorid har visat sig kunna minska känsligheten för mekaniska skador i samband med skörd [230], men effekten verkar endast vara tydlig på jord med låg kaliumhalt. Symptomet har visat sig vara vanligare förekommande hos potatis som fått obefintliga eller låga koncentrationer av kaliumgödning. Effekten tycks bero på höga halter av aminosyran tyrosin som ger minskad stelhet i vävnaden, vilket leder till en minskning i vävnadens resistens mot mekanisk skada. Det verkar också finnas en skillnad i känslighet hos olika sorter, även om samtliga av de fyra som användes i försöket blev mindre känsliga när de fick full koncentration av kalium [243]. Resultaten är dock inte entydiga, i amerikanska försök där 5 olika kaliumgivor (0, 93, 186, 279 och 372 kg K/ha) tillfördes i form av av KCl och K_2SO_4 sågs ingen effekt på förekomsten av stötblått [232].

Ihållighet

Flera studier har dokumenterat ett samband mellan kaliumgödning och ihålliga potatisar, en mycket hög giva av kalium verkar minska kvalitetsfelet. Minskningen av ihållighet var tydligare då man gödslade med KCl jämfört med K_2SO_4 . I studien diskuterar man kring om det kan bero på att potatis som gödslats med K_2SO_4 tenderar att bli större, vilket har i sig har kunnat relateras till högre frekvens av ihållighet [232]. I andra studier har det inte kunnat fastställas någon korrelation mellan olika användning av olika koncentrationer av kaliumklorid och ihållighet [230].

Lagringsduglighet

Kalium kan i viss mån påverka lagringsdugligheten hos potatisen. Försök har visat att viktminskningen i lager minskar med stigande kaliumgivor [69, 223, 242].

Analysmetod

Kalium från jorden kan extraheras och analyseras efter tvättning med svagt surt ammoniumlaktat (AL), eller med en stark saltsyra (HCl), se tabell 8 [5, 28]. I vissa fall används även ammonium acetat och bikarbonatextraktion [230].

Tabell 8. Jordens klass i fem steg baserad på koncentrationen av lätt- eller svårslöslig kalium. Omarbetad från tabell av [28].

Kaliumklass	I	II	III	IV	V
K-AL (mg K/100 g jord)	0-4	4-8	8-16	16-32	32-
K-HCl (mg K/100 g jord)	0-51	51-100	101-200	201-400	401-

Analys av bladskafft under säsong fungerar som en god indikator på plantans upptag av kalium [230]. Tillräckligt hög nivå för prover som tas omkring 25 dagar efter uppkomst är ca 11 % kalium av ts vikten. Vid värden kring 9 % eller lägre finns risk för att plantan lider brist. I mitten av säsongen sjunker kalium behovet till 9 % och sent på säsongen är 6 % tillräckligt för potatisplantan [27]. Om brist uppmäts bör en extra kaliumgiva tillföras men man bör tänka på att det tar ca två till tre veckor innan gödslingen kan uppmätas i bladskafftanalyserna. Så tillförseln bör göras 15 till 20 dagar innan K koncentrationen i bladskafftet förväntas gå under riktvärdet [69].

Gödslingsstrategi

Kalium är det näringsämne som potatisplantan tar upp största mängden av [10] och det behövs redan från tidigt utvecklingsstadium [165]. I amerikanska riktlinjer för kaliumgödsling i potatis rekommenderar man därför att ge all kalium innan sättnig. Vid givor högre än 250 kg K/ha bör dock delar av givan tillföras hösten innan. Detta då man riskerar att få skördesänkningar på grund av salttoxicitet. Av samma anledning bör inte mer än 40 kg K radmyllas. Hänsyn bör tas till vilket saltindex gödningsmedlet har samt avståndet till sättnölen vilket inte diskuteras i riktlinjerna. I Sverige är det vanligt att radgödsla betydligt högre kaliumgivor än så samt att kalimagnesia tillförs senare under säsong. I de amerikanska riktlinjerna vill man undvika att tillföra kalium under säsong då det ofta leder till sänkt skörd och stärkelsehalt [69].

På de jordar där kaliuminnehållet är lågt eller där fastläggningen av kalium är hög rekommenderas radmyllning i samband med sättnig. Bredspridning på våren är den genomgående mest använda metoden för spridning av kaliumgödning [5].

Det finns ett flertal studier som visar på vilken giva som gett optimal skörd, men mängden måste korreleras till jordens kaliuminnehåll, jordens sammansättning, längden på växtperioden och förväntad skörd. Det har även observerats att vissa sorter är mindre effektiva på att ta upp kalium från jorden, vilket får till följd att de behöver högre koncentration av kaliumgödning [230]. På sand och mulljordar bör kaliumgödslingen alltid ske på våren eftersom ämnet annars dräneras bort under vintern [5].

När jorden innehåller K-HCl klass 2 och uppåt kan odlaren räkna med att jorden frigör en ansevärd mängd kalium till den lösliga poolen [4]. På lerjordar kan vittring av lermineral bidra med ett avsevärt tillskott till grödornas kaliumbehov [7].

Mineralgödsel

Svenska Jordbruksverket baserar sina rekommendationer på jordens K-Al klass när de ger råd om hur stora mängder som behöver tillsättas (tabell 9). Givan bör justeras uppåt eller nedåt med 4 kg K/ton avvikelse i förväntad skörd enligt rekommendationer från Albertsson på Jordbruksverket (2011).

Tabell 9. Riktlinjer för gödsling med kalium enligt [4, 7].

	Skördenivå (ton/ha)	Bortförsel av K (kg/ha)	Rekommenderad kaliumgiva (kg/ha)					
			I	II	III	IV	V	
Potatis**	30	150	260	210	160	110	0	[7]
	35	200	220	180	140	100	50	[4]

**vid odling av stärkelsepotatis minskas givan med 50-100 kg/ha.

Kaliumgödsling med olika gödselmedel har testats i flertalet försök. När gödsling med KCl jämfördes med K_2SO_4 kunde man i de flesta fall inte se någon signifikant skillnad i skördenivåerna [232, 239]. På lätta jordar kan det vara en fördel att använda sig av K_2SO_4 på grund av ämnets låga mobilitet i jordprofilen [232]. I danska försök har det uppmärksammats att 40 % av tillsatt Cl, från KCl, följde det nedåtriktade flödet av markvätskan vid nederbörd vilket förklaras med grundämnets inerta beteendemönster [244]. Överlag rekommenderas kaliumsulfat före kaliumklorid till potatis[35].

Kalium för ekologisk produktion

Ett kaliumrikt gödningsmedel som även är godkänt för ekologisk odling enligt KRAV är till exempel Biofer 6-3-12 (11,8 % K) och DCM Vivikali (16,6 % K). Den sist nämnda finns även som så kallad crumble och minigranulat [34]. Enligt särskilda EU-bestämmelser får även ekologisk odling gödsla med kaliumsulfat. Samma regler gäller även för kalimagnesia/patentkali (24,9 % K) [34].

Stallgödsel

Stallgödselns bidrag med kalium beror på djurslag, utfodring och gödsellagring men den största fraktionen av kalium finns i urinen [33]. Halm och andra växtrester innehåller också relativt stor mängd kalium, vilket gör att nedmyllning av halm ger ett bidrag till kaliumbalansen [33]. Det gör att man rekommenderar en 20 kg K/ha lägre giva som är än standardgivan efter nermyllning av halm [245].

Synergi och antagoni

Magnesium och kalcium

Det har i flera försök observerats en minskning av blastens magnesium- och kalciuminnehåll vid gödsling med kalium, vilket tyder på att K/Mg och K/Ca förhållandet behöver optimeras för att få en balans i plantan (tabell 11) [221, 232, 246]. När plantan har tillgång till hög koncentration av kalium minskar upptag av både magnesium och kalcium. Orsaken tros vara konkurrens om upptagningsytor på roten. Det kan ge problem med sjukdomar och kvalitetsfel som relaterar till kalciumbrist [1]. Även när koncentrationen av magnesium i markvätskan är högre än kaliumkoncentrationen tas magnesium upp i mindre mängd än kalium. Bakgrunden är inte helt utredd men en orsak kan vara att magnesium och kalcium tas upp passivt och därmed konkurrerar med andra positiva joner, medan kaliumupptaget är en aktiv process. Ju rikligare tillgång på kalium desto bättre måste därför tillgången på magnesium vara för att växten inte ska lida brist på magnesium. Rekommenderad kvot mellan lättlösligt kalium och magnesium vid olika K-AL tal framgår av tabell 10 [217].

Tabell 10. Rekommenderad högsta kvot mellan kalium och magnesium vid olika K-AL klasser. När kvoten är lägre rekommenderas komplettering med magnesium [7].

K- Al klass	I-II	III	IV-V
mg K/100 g jord)	<8	8-16	>16
K/Mg kvot	2,5	2	1,5

På samma sätt som kalium påverkar upptaget av magnesium negativt påverkar även magnesium kaliumupptaget. Försök har visat att då potatisplantan bladgödslats med magnesiumsulfat har en ökning av bladens kaliuminnehåll observerats, men lett till en minskning av kaliuminnehållet i knölen. I den aktuella studien har ingen effekt av att gödsla eller bladgödsla med magnesium gett signifikant skördepåverkan [247]. Knölar från plantor som kaliumgödslats visade sig ha högre koncentration av magnesium än de som magnesiumgödslats [248]. Eftersom de ovanjordiska delarna minskade i magnesiumkoncentration efter kaliumgödslingen [230] härleddes ökningen till en omfördelning av det mycket mobila ämnet magnesium inom plantan. Addiscott (1974) relaterar resultatet till ett förhållande mellan magnesium och kolhydratinnehåll genom omfördelningsflöde i floemet [248].

Natrium, magnesium och kalcium

Kalium är en envärd katjon som binder hårdare till kolloiderna än natrium, vilket bidrar till att jorden behöver mättas med kalium innan ämnet frigörs kan tas upp av plantan. Det kan till exempel ge komplikationer om salthalten i jorden är hög. När jorden mättas på kalium försämras upptaget av magnesium och kalcium [249].

Kväve, fosfor och järn

Kaliumgödning har se större positiv effekt på skördenivån när plantan har tillräckligt med kväve och fosfor [5]. Större kaliumgiva har observerats öka järnupptaget och en ökad giva järn minskat upptaget av kalium. Forskargruppen såg även att fosforupptaget minskade när kaliumgivan ökades [250].

Kalcium (Ca)

I jorden förekommer kalcium framförallt bundet med mineraler, men även bundet till lerpartiklarna i jorden och löst i markvätskan [217]. Det bidrar till att förbättra jordstrukturen och stabilisera jordpartiklarna. Jord med ursprung i kalksten och krita är ofta extra rika på kalcium och har ett högt innehåll av CaCO_3 (10-70%). De flesta mineraljordar innehåller tillräckligt höga nivåer av kalcium för att möta plantans behov av ämnet, men potatisknölen kan trots det få tydliga bristsymptom [5].

Funktion

Kalcium används vid celledelning som en beståndsdel i den första cellväggen som bildas. Ämnet behövs för att stabilisera cellmembran och för att ge skydd vid olika stressituationer så som torkstress [23, 251-253]. Det är en signalbärare för en mängd olika processer i plantan [254, 255]. Ämnet används som kofaktor vid hydrolys av ATP och fosfolipider samt har även funktioner i metabolisk reglering. Tvåvärda katjoner som kalcium, såväl som magnesium, verkar också kunna påverka vävnadens permeabilitet [23].

Upptag

Kalcium tas upp av potatisplantan i jonform Ca^{2+} och är inte mobilt i plantan. Det innebär att även om det finns kalcium tillgängligt vid huvudrotsystemet kan det inte transporteras till knölarne [105, 256, 257]. Upptaget av kalcium till knölarne är alltså begränsat till den yttersta delen av rötterna som finns på stolonen och på knölen, eller till platser där laterala rötter initieras [257]. Detta eftersom endodermis (de yttre cellväggarna) ännu inte utvecklat det kalciumbromsande suberinlagret på dessa platser [5, 258, 259].

Kalcium binds hårt av jordens kolloider, så trots att jorden innehåller relativt hög koncentration, kan en liten mängd vara löst i markvätskan [5, 46]. Upptaget påverkas dessutom av jordtyp, markpackning [246] och placering av gödningen [105, 260]. Även temperatur har stor påverkan eftersom låg temperatur bromsar ny rottillväxt [246]. Dessutom minskar upptaget vid torkstress och dålig syresättning genom vattenmättad jord [261-263]. Kalciumjonerna är som mest tillgängliga för plantan i jorden runt pH 5,5 - 6,7 [51], med en kraftig ökning av lösligheten till markvätskan och upptag då pH är högre än 6 [46, 50, 51].

Kalciumjonerna distribueras till resten av plantan via transpirationsflödet i xylemet. Det innebär att det passiva upptaget från jorden avstannar om växten inte transpirerar, vilket sker vid fuktig väderlek [5]. Det gör även att jorden, som har högt fukttinnehåll, minskar transpirationen från knölen och därmed begränsar kalciumflödet till knölen [264].

Efter att jonerna har transporterats ut i plantan är kalcium till största delen immobilt [265]. Bristssymptom med död vävnad ses därför framförallt på ung meristemvävnad, som till exempel rotspetsar eller unga blad (figur 16) där celledelingen är som snabbast. Hos knölen syns bristen oftast som fläckar i fruktköttet men även andra inre defekter kan uppstå. Brist kan även ge knöldeformationer, liten knölstorlek och/eller ge upphov till korkartat skinn [250]. Nya blad kan uppvisa deformationer och roten förkortas med ovanligt rik förgrening och en brun färg [23].

Groddar från utsädespotatis med låg kalciumhalt kan i vissa fall hämmas vilket visar sig genom att toppen helt slutar växa. Grodden förgrenar sig då kraftigt och toppen svartnar. Symptomen påminner om groddbränna men kan avhjälpas om kalcium tillförs på grodden [266].



Figur 16. Bristssymptom för kalcium i bladen. Bladkanterna får en brunaktig färg.

Skördepåverkan

Skördenivå och storleksfördelning

Som regel påverkas skördenivån inte nämnvärt av kalciumgödning [267], men det finns försök som gett omkring 4 tons skördeökning till följd av kalciumgödning [246]. I en annan studie har forskare uppmätt en liten skördeökning från 29,8 till 31,6 t/ha vid den lite högre givan av 450 kg Ca/ha. När mängden kalcium dubblades till 900 kg/ha sjönk skörden till 30,1 t/ha. Jorden innehöll mellan 436-860 mg Ca/kg vid försökets initiering [268].

Liksom skördenivån kan knölsättningen i vissa fall påverkas av kalciumgödning. I ett försök på sandjord med låg jonbyteskapacitet konstaterade man att knölstorleken ökade vid gödning med kalcium [246]. När Ozgen och Palta (2004) undersökte olika kalciumkällors effekt på knölsättning i krukodling drog man samma slutsats, att både kalciumnitrat och kalciumklorid (168 kg/ha) minskade antalet knölar. Samtidigt ökade knölarnas kalciuminnehåll och plantornas skördenivå, genom att knölarerna blev större. Jorden hade vid försökets början 350 mg Ca/kg [255].

Sjukdomar och kvalitet

Rostfläckighet och ihåligheter

Rostfläckigheten syns som bruna fläckar av varierande storlek inuti knölen och förekommer oregelbundet spridda i knölköttet [269]. Symptomen kan även uppstå när markförhållandena är ogynnsamma såsom vid starka växlingar av markfukten och höga temperaturer [124, 269, 270]. Fenomenet är speciellt vanligt på torkkänsliga sandjordar [271], men omfattning varierar mellan olika potatissorter [272].

Förekomsten av ett antal interna defekter på knölen som bland annat rostfläckighet och ihåligheter, har visat sig kunna bero på kalciumbrist i knölen [252, 273-275]. Exempelvis så resulterade kalciumnivåer kring 0,13 % av ts vikten i skalet på knölen i att omkring 40 % av knölarna hade rostfläckar medans endast några procent av knölarna hade skador om koncentrationen höjdes till 0,23 %. I detta försök hade mellan 0 och 252 kg kalcium i form av kalciumnitrat tillförts per hektar [275]. Eftersom en hög kaliumgödsling motverkar upptaget av kalcium borde problemen med ihålighet kunna öka vid allt för hög kaliumgödsling.

Stötblått

Belägg finns för att mekaniska skadorna såsom stötblått kan minskas då kalciuminnehållet i knölen ökas. Anledningen tros vara att en ökad kalciumnivå i potatisknölen ökar stabiliteten i cellmembranen och i cellväggarna [276]. Förutom att potatisen blir mindre attraktiv av stötblått, så är risken också större för att sekundära skadegörare ska angripa de skadade knölarna. De ovan nämnda defekterna kan naturligtvis även minskas om potatisen hanteras mer varsamt vid skörd och sortering [269].

Stjälkbakterios

Sjukdomen stjälkbakterios orsakas av bakterien *Pectobacterium carotovorum* (tidigare *Erwinia carotovora*) och *Dickeya spp.* (tidigare *Erwinia chrysanthemi*). Bakterien producerar stora mängder enzymer som bryter ner intercellulärt pektin, knölvävnad och potatisblast [41]. Stjälkbakterios kan hämmas av att plantan förses med tillräckligt mycket kalcium för att stärka cellväggarna [41, 275, 277]. Den positiva effekten av kalcium tycks dock avta om kaliumgivan är allt för hög (450 kg K/ha jämfört med 225) [41]. Knölens placering på plantan verkar ha betydelse för kalciumhalten. Studier har visat att koncentrationen av kalcium är högre ju närmare moderknölen potatisen växer men tycks inte påverka angreppet av *Pectobacterium* (blötröta) [278]. Tydliga sortsskillnader finns när det gäller hur mycket stjälkbakterios minskar i samband med kaliumgödsling [279].

Vanlig skorv

Vanlig skorv orsakas av en bakterie (*Streptomyces scabiei*). Som en reaktion av bakteriens angrepp stiger koncentrationen av flera näringsämnen, bland annat kalcium, i den skadade vävnaden. Som många andra bakterier trivs *Streptomyces* i ett pH mellan 5,7 och 8 i lätta och torra jordar. Genom att låta pH sjunka till under 5,5 sker en effektiv reduktion av angrepp. Det har även observerats en låg förekomst då pH är högre än 8 [41]. Det verkar även som att kalcium/magnesiumkvoten kan vara viktig eftersom jonerna kan hindra varandras upptag. När koncentrationen av magnesium sjunker i förhållande till kalcium, har man sett att skorvangrepp ökar [280].

Kokkvalitet

Kalcium har visat sig kunna påverka mörkfärgning efter kokning. Mörkfärgningen minskade med ökad kalciumhalt [281].

Lagringsröta

Genom att öka knölens kalciuminnehåll stärks cellväggarna och dess motståndskraft mot lagringssjukdomar [264].

Analysmetod

Jordprov

Kalcium i jorden kan extraheras och analyseras med ammoniumlaktat (AL) eller med en stark syra som saltsyra (HCl) [28].

Kalktillståndet uttrycks oftast som pH-värde. I Sverige mäts pH-värdet i destillerat vatten, medan mätning i kalciumklorid (CaCl_2) är vanligt i många andra länder. För att jämföra mätvärden, och översätta ett pH-värde mätt i kalciumklorid, adderas 0,5 till det angivna värdet för att uppskatta motsvarande pH-värde mätt i destillerat vatten [7]. Eftersom pH-värdet inte ger något mått på kalkbehovet, måste det kompletteras med uppgifter om lerhalt och mullhalt innan någon kalkningsrekommendation kan ges. Lerhalten bestäms ofta indirekt genom att utgå från K-HCl-talet, men korrelationen mellan lerhalt och K-HCl varierar mellan olika jordar. Enligt Fredriksson & Haak (1995) är kvoten mellan K-HCl och lerhalten ca 10 i norra och östra Sverige, 8 i Västsverige samt 6 i södra delen av landet [242]. I vissa fall görs mätningen av halten utbytbar aluminium (Al-AS) i jorden för att ge vägledning om kalkningsåtgärder. Vid låga pH-värden ökar normalt mängden utbytbar aluminium i marken [7].

Vävnadsanalys

Det utförs även kalciumprov på knöl och plantvävnad [5]. Kalciumhalten i bladet bör ligga mellan 0,6-1,0 % för att tillfredsställa potatisgrödans behov [27]. Starck *et al.* (2004) rekommenderar att nivån i prov från fjärde fullt utvecklade bladets bladskaff under knöltillväxtfasen bör ligga mellan 0,4–0,6 % Ca för sorten Russett Burbank [69], men det är viktigt att vara medveten om att kalciuminnehållet från ett bladprov inte behöver vara relaterat till kalciumhalten i knölen, eftersom ämnet följer transpirationsflödet [5]. Lämpliga halter i skalet på knölen anses ligga strax under 0,2 % Ca av ts vikten för att risken för kvalitetssänkningar skall minimeras [260, 264, 275].

Gödslingsstrategi

För att öka kalciumhalten i knölna är det viktigt att gödseln placeras nära knölna. I ett försök med delad kruka kunde man visa att kalciumtillförsel till huvudrotsystemet inte påverkade koncentrationen i knölna medan en tillförsel till stolonen och knölen ökade koncentrationen med 300 % [105]. Även fältförsök har visat att radmyllning är effektivare än bredspridning när det gäller att öka koncentrationen av kalcium i knölna [246, 260].

I USA rekommenderar man att kalcium tillförs om jorden innehåller mindre än 300 mg Ca/kg [142] medan det i Sverige rekommenderas kalkning om jorden innehåller mindre än 70-100 mg Ca/kg [7]. Kalciumgödsling för ökad knölqualität verkar således vara underskattat i Sverige. Det kan dock vara vanskligt att göra gödslingsrekommendationer för kalcium till potatis då kalciumhalten i jorden inte nödvändigtvis avspeglar upptaget till

knölen [142]. Det beror som sagt till stor del på att kalcium inte är mobilt i plantan och således inte förflyttas till knölen. I vissa fall kan alltså en tilläggsgödsling av kalcium behövas för att säkerställa kvaliteten på potatisen även om jorden innehåller mer än 300 mg Ca/kg [267, 282].

Kalkningseffekt

När en pH-höjning är önskvärd används vanligen kalksten eller krita, CaCO_3 . Kalksten är en långsamt pH-höjande kalciumkälla men ju mer finfördelad den är desto snabbare löser den upp sig [5]. När kalksten bränns i 1100 °C bildas bränd kalk, CaO , och då det reagerar med vatten formas släkt kalk Ca(OH)_2 . Både bränd kalk och släkt kalk är vattenlösliga och förändrar pH snabbt, vilket kan vara en fördel i kalla och fuktiga jordar [5]. Kalkning kan göras vid vilken tid på året som helst, men inte samtidigt som det gödulas med NH_4^+ . Det beror på att pH-förändringen reagerar med kväveföreningen och bildar ammoniak, NH_3 , som avgår till luften [5]. Om en pH-höjning inte är önskvärd, men odlaren vill förbättra markstrukturen och höja knölens innehåll av kalcium används ett neutralt salt som gips, CaSO_4 [5, 41].

Mineralgödsel

Kalciumnitrat(kalksalpeter), rekommenderas ofta som gödning i växande gröda då den förser plantan med både lösligt kväve och lösligt kalcium [246]. Genom att gödsla i samband med kupning föses näringen till knölarna.

Flytande

För kvalitetsfel som skalmissfärgning och inre missfärgning verkar en Ca/Mg-kvot på < 10 vara mest gynnsam, medan kvoter mellan 10-20 har resulterat i ökad frekvens missfärgade knölar [280]. För att höja kalciuminnehållet i knölen och minska inre defekter verkar lösligt kalciumnitrat ($\text{Ca(NO}_3)_2$), kalciumklorid och N-plus (N 9 %, Ca 11 %) fungera väl. Upptaget ökar ytterligare då givan delas upp under perioden av knöltillväxt. Gödningen bör tillföras från toppen av kupan i en vattenlösning under knöltillväxtfasen för att tas upp effektivast [252, 267, 283, 284].

Mjöl

Ett kalkrikt specialgödningsmedel som även är godkänt för ekologisk odling och KRAV-certifierad produktion är Biofer 7-9-0 (15,4 % Ca). Det har sitt ursprung i köttbenmjöl [34]. Ekogödsel Plus 8-3-5-3 NPKS (9,6 % Ca) är formulerat som pellets och produkten har sitt ursprung i köttmjöl och vinassrester. Även den här produkten är godkänd för KRAV-certifierad odling [34].

Synergi och antagoni

Magnesium och kalium

När jorden mätts på kalium uppstår en antagonistisk effekt som ger ett försämrat upptag av kalcium och magnesium [5, 249]. Kalciumjonen dominerar på de laddade bindningspunkterna på kolloiderna i jorden, men även magnesium är vanligt förekommande i en välbuffrad jord. De båda tvåvärda jonerna har ett antagonistförhållande eftersom de konkurrerar om samma plats i näringstransportkedjan [41, 285].

Ammonium och nitrat

I försök med ammonium- och nitratgödsling har det observerats att kalciumupptaget ökar vid tillförsel av NO_3^- , men minskar vid gödsling med NH_4^+ [5, 286]. I ett annat försök har det

visats att en delad kvävegiva, där det tillförda kvävet är i form av ammoniumnitrat, kan öka kalciumhalten i knölen. Anledningen tros vara att NH_4^+ ersätter kalcium genom katjonutbyte och på det sättet frigör kalciumjoner till markvätskan [267].

Järn

Vissa växter utvecklar en kalkinducerad kloros som uppstår på grund av ett överskott på HCO_3^- . Det resulterar i ljus grön till gul nyans hos de nyaste bladen, vilket beror av plantans oförmåga att metabolisera järn [5].

Svavel (S)

Svaveldioxid (SO_2) är en gas som bildas vid förbränning av olja och kol i till exempel kolkraftverk, bilmotorer och fabriker [5, 150], vilket ger ett tillskott på svavel till jorden från atmosfären genom nederbörden [287]. I Västeuropa kan det röra sig om ett atmosfäriskt tillskott på 8-15 kg S/ha per år [5]. Om gasen löser sig i vattendroppar oxiderar det till svavelsyra i jorden som ger upphov till försurning av jorden [5].

Flera hundra kilo svavel finns i de flesta matjordar i tempererat klimat, varav mer än 95 % är organiskt bundet [288]. Mineraliseringen styrs av mikrobiell aktivitet som beror av temperatur, fukt, pH och jordens innehåll av organiskt material [288]. Ett högt innehåll av organiskt material innebär vanligen ett högt svavelinnehåll. Kalkrika jordar innehåller generellt mest svavel och därefter följer mulljordar [5]. Endast en mindre del av total- S förekommer som sulfat (SO_4^{2-}) i aerobiska förhållanden [5, 217], som även är den sammansatta jon som växterna lättast tar upp [217]. Sulfat är lösligt i vatten [289] vilket gör att ämnet riskerar att utlakas vid hög nederbörd. Så mycket som 130 kg S/ha per år har visat sig kunna lakas ur från odlingsjord, vilket är mer än vad de flesta grödor tar upp [5]. Till viss del kan processen bromsas med fånggrödor och höstgrödor.

När jorden är vattenmättad reduceras oorganiskt svavel till järnsulfid (FeS), järndisulfid (FeS_2) och vätesulfid (H_2S). Under syrefria förhållanden bryts sulfid ner till elementärt svavel av kemoautotrofa svavelbakterier. De kan även oxidera svavel till svavelsyra (H_2SO_4), som sänker jordens pH. Även elementärt svavel sänker jordens pH. I syrerika förhållanden mineraliseras H_2S genom oxidering till sulfat [5]. I försök har det observerats att svavel löses ut i markvätskan i ökande koncentration då pH är 5,5 eller högre [5, 46], vilket är fallet för de flesta potatisjordarna i landet.

Funktion

Svavel återfinns i två aminosyror (cystein och metionin) och är en beståndsdel av flera koenzymer, samt vitaminer som är nödvändiga för metabolismen. Reduktionen av sulfat till cystein och methionin är en förutsättning för biosyntes av andra biologiskt viktiga ämnen som tioler som spelar en nyckelroll i upptag, förflyttning och deposition av tungmetaller i plantans vävnad [5, 290]. Ämnet deltar dessutom i elektrontransport i fotosyntesen och cellandningen [20].

Upptag

Plantan behöver ungefär lika stor mängd svavel som fosfor, men behöver inte få lika stor mängd tillförd genom gödningen [5]. Anledningen är att svavel inte binder lika hårt till markens kolloider som fosfor [5], men en viss fastläggning kan dock ske genom oxidation med järn och aluminium [217]. Oxidationen sker via bakterier som utför processen

snabbast när temperaturen är över 25° C, jorden är något fuktigt, pH är lågt och när rätt bakterier förekommer [41, 217]. Växten tar i huvudsak upp svavel via rötterna men upptag av svaveldioxid kan även ske direkt genom bladens klyvöppningar, där det omvandlas till sulfat som sedan kan transporteras runt i plantan [217]. Koncentrationen av svaveldioxid kan bli för hög i luften nära en stadsmiljö och bli rent av toxisk för potatisen [150]. Upptaget via rötter går mot en elektrokemisk gradient, vilket visar på att det troligen sker aktivt. Ämnet transporteras framförallt uppåt med transpirationsströmmen, men trots det uppvisar svavel en viss mobilitet med flöden in i ny vävnad vid brist [5].

Symptom på svavelbrist är minskad tillväxt, och då en stor del av växtens svavel ingår i kloroplasterna, blir bladen ljusare och gulnar mellan nerverna med början hos de yngre bladen. Vid kraftig brist kan gulnanden övergå till kloros som sedan sprider sig till de äldre bladen [43] (figur 17). Bladen kan även bli mer upprättstående och buckliga än vanligt [217]. Då svavel förekommer i enzym som bland annat styr omvandlingen av nitrat, kan svavelbrist hämma proteinsyntesen och medföra en ansamling av nitrat i växten. Svavelbrist förväxlas på grund av hämningen av proteinsyntesen ofta med kvävebrist men i motsats till svavelbrist uppträder kvävebrist först på äldre blad [1, 217]. Bristssituationer uppstår oftast på mullfattiga- och sandiga jordar som löper stor risk att utlakas på svavel [287].



Figur 17. Svavelbrist i potatis. Bladen ljusare och så småningom gulnar bladen mellan nerverna.

Höga salthalter i jorden associeras oftast med natriumsulfat ($\text{Na}_2\text{SO}_4^{2-}$) och natriumklorid (NaCl). I försök med båda salterna på olika potatissorter har den toxiska effekten, med negativ effekt på tillväxten, visat sig vara störst för natriumsulfat. Toxiska symptom visar sig som inrullade bladkanter och förkrympta plantor med mindre bladyta. Effekten kan härledas till att salterna påverkar det osmotiska processerna i plantan [151].

Skördepåverkan

Svavelgödning kan vid bristsituationer påverka skördenivån i ungefär lika stor eller något större utsträckning än fosfor. I Sverige finns det inga data publicerad kring svavelgödningens inverkan på skördenivån men i de internationella referenser som denna studie tagit del av ligger skördeeffekten mellan 0-10 % [291, 292] men undantag finns där över 30 % skördeökning uppmätts [293]. I de fall där svavelgödning minskar förekomsten av skorv kan dock den säljbara varan öka betydligt mer än så [291, 294]. Svavelbrist uppstår mer sällan än de övriga makronäringsämnen och mindre mängder behöver tillföras för att optimal skördenivå skall erhållas. En svavelgödning på knappt 50 kg S/ha är då oftast tillräckligt för att motverka brist [291].

Stärkelsehalt

Ett flertal försök har visat att svavelbrist kan leda till lägre stärkelsehalter [293-295]. I ett nyligen utförd försök gav 45 kg S/ha en ökning av stärkelsehalten med mellan 2-4 %

beroende på sort [293]. Då inga renodlade svavelförsök har utförts i potatis i Sverige bör detta vara ett intressant område för framtida forskning.

Sjukdomar och kvalitet

Vanlig skorv

Vanlig skorv (*Streptomyces scabiei*) orsakas av en bakterie som angriper lenticellerna under knölbildningen [296]. Bakterien har ett brett pH spann som den trivs i men begränsas vid pH värden under 5,4 och över 8. Under pH 5,3 förökar sig inte bakterien längre [287]. Angreppen blir ofta kraftigare på lätta jordar där syresättningen är god och begränsas av bevattning då syrehalten i marken minskar [291].

Det har sedan slutet av 1800-talet varit känt att svavelgödsling kan minska förekomsten av skorv och många försök har sedan dess bekräftat effekten [294, 297-300]. Fram till i mitten av 50-talet trodde man att det var den surgörande effekten av svavel som var den enda orsaken, men det har sedermera visat sig att minskningen beror på två olika faktorer. Dels beror det på den surgörande effekten hos svavel och dels på produktionen av det fytotoxiska ämnet vätesulfid (H_2S). För att uppnå den surgörande effekten behöver stora mängder svavel tillföras (300-500 kg S/ha) men det bör tilläggas att dessa höga nivåer riskerar att bli toxiska och sänka skörden [150, 301]. Betydligt mindre nivåer krävs för att få den fytotoxiska effekten av H_2S . Vid radmyllning ligger det då i stället kring 50-100 kg S/ha [291].

En del forskare rekommenderar att odlare använder sig av gips ($CaSO_4$) [41] eller elementärt svavel [292]. Men även flera andra svavelgödselmedel så som kalium- och mangansulfat har visat sig kunna minska skorvangreppen [291].

Groddbränna

Även groddbränna (*Rhizoctonia solani*) minskar vid kraftig gödsling med svavel. Svavel och sulfat kan fungera som bekämpningsmedel när de omvandlas till gasform som vätesulfid (H_2S) och påverkar då patogenerna utan att ändra pH [287], se kapitlet 'Växtföljd'. Även kaliumsulfat har setts minska infektionshastigheten och utbredningen av sjukdomen. Effekten förklaras också delvis med att plantans svavelinnehåll är viktigt för att begränsa sjukdomen [292, 300].

Analysmetod

Jordanalys

Totalsvavel kan avläsas med flera olika tekniker med jämförbara resultat. Ofta använder man sig av våtförbränning med en syra och därefter blandas lösningen med $BaSO_4$, vilket kallas turbiditetsmetoden. SO_4 -S innehållet avläses genom ICP, se inledningen [27].

Vävnadsanalys

Bristsymptom har observerats då vävnaden innehåller mindre än 0,12 % svavel [302]. Mitt i växtsäsongen bör svavelinnehållet i vävnaden vara mellan 0,19 – 0,36 % av ts vikten [27]. Starck *et al.* (2004) rekommenderar att nivån i prov från fjärde fullt utvecklade bladets bladskaff under knöltillväxtfasen bör ligga mellan 0,15 – 0,2 % S för sorten Russett Burbank [69].

Gödslingsstrategi

Svavel behövs i en så liten mängd att det ofta räcker med 50 kg/ha även vid svavelbrist [287]. Det är fördelaktigt att sprida gödningen på våren eftersom svavel annars riskerar att utlakas med vinterns nederbörd [5]. Ett flertal sammansatta gödselblandningar innehåller svavel i tillräckligt hög mängd för att täcka plantans behov, så att odlaren inte behöver gödsla med en speciell svavelgödning [34, 35].

pH-sänkning

Elementärt pH reagerar långsamt och formar svavelsyra, vilket sänker jordens pH. Om elementärt svavel impregneras med zink, järn, mangan och koppar kan upptaget av dessa mikronäringsämnen ökas med ett sänkt pH. De binds till fosfat- och sulfatjoner när jordens pH är högt, vilket ofta ger upphov till bristsymptom med skördesänkning eller kvalitetsförsämring [11].

Pellets och granulerat

Yaras NPK-gödningsmedel ProMagna 8-5-19 (11,7 % S) och 11-5-18 (10 % S) innehåller svavel, vilket gör att mer inte behöver tillsättas för att tillgodose grödans behov [35]. Används andra gödselmedel kan en komplettering vara aktuell vilket lämpligen görs med kaliumsulfat eller NS 27-4. Biofer 6-3-12 i pelletsform innehåller 6,9 % svavel [34] och granulat av bergarten kiserit innehåller 20 % S samt 15 % magnesium. Enligt EU-regler tillåts båda i ekologisk produktion, så väl som kalimagnesia/patentkali (18 % S) och kaliumsulfat (18 % S). De sistnämnda rekommenderas speciellt för potatisodling [34].

Flytande

Sulfat är lösligt i vatten [290] vilket gör att det kan vattnas ut genom sprinklersystem under knölutvecklingen och snabbt tas upp av plantan [69].

Stallgödsel

Det är stor variation på stallgödselns innehåll, men koncentrationen av total-S i en genomsnittlig flytgödsel från svin ligger mellan 0,15–0,7 kg S/m³ [303]. Stallgödsel med en högre mängd halm innehåller ca 1 kg S/ton [34, 288].

Växtföljd

Genom att använda sig av svavelrika växter från *Brassica* familjen i växtföljden har man uppmätt en minskning av flera markburna sjukdomar och skadedjur. När grönmassan myllas ner i jorden bryts svavelhaltiga glukosinolater ner av mikroorganismer och vilket framförallt producera isothiocyanater, vilka är toxiska för många markorganismer [304, 305] (tabell 11). Processen har getts namnet "biofumigering" [306]. Reduktionen av patogenerna har dock inte genomgående varit associerade med högt glukosinolatproducerande grödor, utan även vid odling av korn och rajgräs. Det indikerar att fler mekanismer och interaktioner är viktiga, speciellt för kontroll av groddbränna/lackskorv [304].

Tabel 11. Grödor som utvärderats för deras växtföljdseffekt på jordburna sjukdomar i laboratorium, växthus och i fältförsök [304].

Gröda	Relativt glukosinolat-innehåll
Raps, 'Dwarf Essex', <i>Brassica napus</i>	Måttlig
Rättika, 'Purple Top', <i>Brassica rapa</i>	Måttlig
Rädisa, <i>Raphanus sativa</i>	Måttlig
Gul senap, 'Ida Gold', <i>Sinapsis alba</i>	Måttlig
Seraptasenap, <i>Brassica juncea</i>	Hög

I labbförsök har seraptasenap uppvisat 80-100 % minskning av groddbränna/lackskorv, rödröta (*Phytophthora erythroseptica*), pythiumröta (*Pythium ultimum*), bomullsmögel (*Sclerotinia sclerotiorum*) och fusariumröta (*Fusarium sambucinum*). På en försöksodling i fält där vanlig skorv var det primära problemet har seraptasenap, raps och italienskt rajgräs setts minska patogenförekomsten med 25 % [304].

Andra kålväxter som raps, rädisa, rättika, gul senap och även korn har reducerat groddbränna med 20-56 % i växthusförsök [304]. Groddbränna/lackskorv har visat en minskning på 70-80 % i fältförsök efter odling av raps jämfört med odling av havre [304]. Effektiviteten av biofumigeringen har setts variera signifikant mellan olika genotyper av seraptasenap och svart senap (*Brassica nigra*) [307], vilket visar på vikten av samarbete mellan odlare, forskare och fröföretag för att effektivisera dess effekt.

Synergi och antagoni

Klorid, nitrat och aluminium

Forskare har observerat att det eventuellt råder ett antagonistförhållande mellan anjonerna SO_4^{2-} och Cl^- [232]. Sulfat, klorid och nitrat bidrar dessutom till en ökad löslighet av aluminium till markvätskan [51].

Magnesium (Mg)

I den svenska berggrunden och i svenska jordar uppträder magnesium nästan uteslutande i föreningar med kisel (silikater) [308]. Genom vittring tillförs magnesium till de olika jämviktsfraktionerna i jorden [217]; olöslig, förrådsfraktion och utbytbart. Lerjordar innehåller generellt 10 gånger mer magnesium än sandjordar och den största fraktionen är den svårslösliga. Även lågt liggande myrmarks-jord har ofta högt magnesiuminnehåll. Ämnet är mobilt i marken och utlakas relativt lätt, speciellt i sandjordar [5]. Det förekommer att magnesium ackumuleras i alven, speciellt i Västsverige. Det beror framförallt på att havsvatten innehåller magnesium, som i kustnära områden kan blåsa in i form av aerosoler. De magnesiumhaltiga dropparna kommer ner i matjorden och utlakas till alven med efterföljande nederbörd. Troligen bidrar havssaltet med tillräcklig mängd magnesium för att täcka utlakning och grödans upptag i Bohuslän och Halland [29].

Funktion

Magnesium är centralatom i klorofyllets ringstruktur [43] och spelar därmed en viktig roll vid fotosyntesen [217]. Huvuddelen av magnesiumet finns löst i cellvätskan som Mg^{2+} där det, precis som kalium, påverkar och deltar i enzymatiska reaktioner samt reglerar växtens vattenbudget och jonbalans [217, 220]. Jonen fungerar som en aktivator av enzymsystem vid fotosyntesreaktion. Den har även en viktig funktion i respiration, lipidmetabolism och vid både kväveackumulering samt transformation [43]. Fosforyleringsprocessen aktiveras av

magnesium och ämnet behövs även för produktionen av ATP [5, 309]. Eftersom magnesium är viktigt för transport och överföring av energi i växten är ämnet indirekt nödvändigt för syntesen av de flesta av växtens byggstenar som till exempel proteiner och kolhydrater. Magnesiumbrist kan därför leda till ansamling av andra föreningar i bladen [217]. Ämnet kan även påverka membranens permeabilitet [23].

Upptag

Magnesiumkoncentrationen ökar i marklösningen med stigande pH från 5 till 8 [5]. Att lösligheten sjunker över pH 8 förklaras med ett katjonbyte med kalcium [46] som sker vid högt pH. Vid lågt pH ökar aluminiumjonens löslighet vilket man tror antingen inaktiverar eller konkurrerar om bindningsplatser med magnesium, vilket i sin tur resulterar i en låg löslighet i markvätskan [310]. Forskare har länge varit osäkra på om plantan tar upp magnesium passivt eller aktivt och mer forskning behövs för att fastställa mekanismen [311]. Upptaget och plantans innehåll av mätbart magnesiuminnehåll förändras väldigt lite under växtsäsongen. Plantan innehåller ca 0,1-1,25 % av ts vikten [312].

Bristssymptomen börjar oftast som kloros mellan bladnerverna, som förblir gröna eftersom det är klorofyllet som tar skada (figur 18). Om bristen är allvarlig kan bladen bli gula eller helt vita. Bladen kan även börja falla av i förtid [23, 43, 63], vilket kan orsaka minskad skörd [63]. Vissa potatissorter utvecklar mindre bladmassa än andra och det är framförallt i dessa sorter som magnesiumbrist syns först [63]. Magnesiumjonerna är relativt mobila i plantan och transporteras genom floemet. Näringsbrist syns först på äldre blad eftersom ämnet transporteras till nyare delar vid behov.



Figur 18. Magnesiumbrist i tidigt stadium, symptomen övergår senare till nekros och bladen gulnar.

Magnesiumbrist har blivit vanligare på senare år då mineralgödningen har blivit renare. Tidigare fanns spår av magnesium som en orenhet i många gödselmedel. Brist uppstår oftast lätta sandjordar och på kraftigt kalkade eller kraftigt kaliumgödslade jordar [5].

Skördepåverkan

Skördenivå och storleksfördelning

I en omfattande försöksserie och litteraturgenomgång från 2001 gällande magnesiums påverkan på skörd i potatis drogs slutsatsen att ämnet är överskattat. Någon signifikant effekt från magnesiumgödning på skördevolymen kunde inte fastställas [313]. Det finns dock försök där kraftiga skördeökningar uppnåtts till följd av magnesiumgödning [314]. Försöket i fråga utfördes i Bangladesh och gav en genomsnittlig skördeökning på över 30 % (ca 7 ton) vid tillförsel av 10 kg Mg/ha. Vid nästa nivå, 20 kg Mg/ha sjönk skörden. Liknande resultat har redovisats från Long Island i USA på slutet av 70- talet, där gav en gödning med ca 2 kg Mg/ha i form av magnesiumsulfat ca 3 tons skördeökning medan ca 4 kg Mg/ha sänkte skörden något men gav mindre missfärgning [315]. Jorden på försöksplatsen hade enligt normen en god magnesiumstatus. Det kan dock inte uteslutas

att en del av effekterna kom från svavlet i magnesiumsulfatet. Några svenska studier kring magnesiumgödsling i relation till skördenivå i potatis har inte hittats. Trots detta rekommenderar gödslingsföretaget Yara att 15 till 30 kg magnesium bör tillföras till potatis om inte markens magnesiuminnehåll är extremt stort.

Magnesium är viktigt för produktion av rålipider och fosfolipider. Hög koncentration av den här typen av ämnen kan minska mekaniska skador i samband med skörd [316]. Men inga resultat som visar att magnesiumgödsling minskar mekaniska skador har hittats.

Kokkvalitet

Man har sett att potatis som gödslats med magnesium har en ökad tendens till enzymatisk missfärgning efter kokning en månad efter skörd. I studien försvann problemet med missfärgning efter 10 månaders lagring. I ett annat försök jämfördes magnesiumsulfat med dolomit, när magnesiumsulfat användes minskade fenolhalten, missfärgningen och även bitterheten mer än för dolomit [303, 315].

Stärkelseinnehåll

När potatisplantan lidit brist på magnesium har en minskning av stärkelseinnehållet i knölen registrerats [220].

Sjukdomar och kvalitet

Bakterios

I försök med magnesium har man kunnat påvisa en minskning i förekomst av bakterios, *Erwinia carotovora* och *E. chrysanthemi*. Minskningen var inte fullt så stor som vid gödsling med kalcium. Eftersom kalcium och magnesium har ett antagonistförhållande kan det därför vara en fördel att använda sig av kalciumgödsling för största sjukdomseffekt [41].

Magnesium har även visat sig kunna påverka en del lagrinssjukdomar så som Phoma (*Phoma exigua* var.foveata) och Fusariumröta (*Fusarium solani* var.coeruleum). Med stigande magnesiumhalt i skalet minskade knölarnas mottaglighet [288]. Detta förklarades av att det pektinbunda magnesiumet stärkte cellväggarna.

Vanlig skorv

För att undvika problem med skalmissfärgning rekommenderas att Ca/mg-kvoten i marken bör hållas under 10 eller över 20. När Ca/mg kvoten, stiger det vill säga när koncentrationen av magnesium sjunker i förhållande till kalcium, har man sett att skorvangrepp ökar och att skalåterbildning avtar [317]. Detta är troligen mest viktigt för kalciumupptaget då inga indikationer finns på att magnesium skall påverka skalmissfärgning eller skorv.

Rostfläckighet

I försök på lätta sandjordar har man kunnat se att, upptaget av kalciumjoner hindras när man gödslar med Epsomsalt (MgSO_4 , 272 kg/ha). Det minskade upptaget av kalcium är troligen den mest bidragande faktorn till ökningen av rostfläckighet som uppmättes [271].

Analysmetod

Jordanalys

Magnesium kan extraheras och analyseras med ammoniumlaktat (AL) eller med saltsyra (HCl) [28]. Mg-AL halten i svenska jordar är i medeltal 15 mg per 100 g jord baserat på analyser i Växtnäringsdatabasen från 1989 och framåt. Min- och maxvärden är 1 respektive 90 mg [317]. Enligt Yara ligger gränsvärdet för magnesiumbris på Mg-AL 4-10 mg/100 g jord. Magnusson (2003) hävdar att magnesiumtalet bör vara högre på en lerjord, >10 mg Mg/100 g jord, på lätta jordar ligger gränsvärdet på 4 mg Mg/100 g jord [22].

I Sverige används AL-metoden för att bestämma markens magnesiuminnehåll.

Bladanalys

Magnesiumhalten i bladet bör ligga mellan 0,50 - 1,50 % när plantan är ca 30 cm hög. Senare på säsongen bör halten uppgå till 0,70 - 1,00 % [27]. Starck *et al.* (2004) rekommenderar att nivån i prov från fjärde fullt utvecklade bladets bladskåft under knöltillväxtfasen bör ligga mellan 0,15 - 0,3 % Mg för sorten Russett Burbank [69].

Gödslingsstrategi

Potatis behöver relativt lite magnesium för att uppnå optimal skörd och kvalitet. Med ovanstående resultat i beaktning borde en rimlig gödslingsnivå ligga nära bortförselevelnivån, det vill säga omkring 10 kg Mg/ha. I många fall verkar en något lägre nivå vara tillräcklig.

Det finns en rad olika gödslingspreparat tillgängliga på marknaden som innehåller lösligt magnesium vilket gör att det inte bör vara några problem att få ut tillräckliga mängder. Man bör dock se upp med att tillföra allt för stora mängder då det tycks sänka skörden. Någon information om hur och när magnesium bör tillföras har inte hittats.

Mjöl och granulat

Dolomit, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (5-20 % Mg) innehåller, förutom magnesium, även kalcium. Dolomit höjer markens pH och ger en långsam friläggning av magnesium eftersom det har en låg löslighet [29]. Granulat av bergarten kiserit (16 % Mg), MgCO_3 , är även godkänt för ekologisk produktion [34]. Kiserit används ibland för att höja pH på magnesiumfattiga jordar i USA [5], men den säljs i granulat som innehåller 20 % svavel i Sverige vilket eventuellt dämpar pH förändringen. Enligt EU-regler tillåts även kalimagnesia/patentkali (6 % Mg) inom ekologisk produktion [34].

Flytande

Genom att Epsomsalt, MgSO_4 (ca 10 % Mg) är lösligt går det att gödsla med en betydligt lägre giva än med mindre lösliga produkter [5]. Ett högt pH i jorden försämrar plantans upptag av magnesium. Det gör att bladgödning med epsomsalt, MgSO_4 , kan vara ett snabbare sätt att förse växtens behov vid höga pH värden [29], men inga försök som styrker det har hittats.

Synergi och antagoni

Kalium

Även om koncentrationen av magnesium i markvätskan är högre än kalium tas magnesium upp i mindre mängd än kalium. Fältsförsök har visat att det är när kvoten K-Al/Mg-Al överstiger 2 som magnesiumupptaget börjar försämrats [29]. Det har också observerats en minskning av blastens magnesiuminnehåll vid gödsling med kalium [221, 232, 246]. När potatisplantan i stället bladgödslats med magnesiumsulfat har det uppmätts en ökning av bladens kaliuminnehåll och en minskning av knölens kaliuminnehåll. I den aktuella studien har ingen effekt av att gödsla eller bladgödsla magnesiumsulfat gett signifikant skördepåverkan [247]. Bakgrunden är inte helt fastlagd men en orsak kan vara att magnesium tas upp passivt och därmed konkurrerar med andra positiva joner, medan kaliumupptaget är en aktiv process [5]. Av den anledningen behöver tillgången på magnesium vara betydligt högre än på kalium för att växten inte ska lida brist [22, 249]. Rekommenderad kvot mellan lösligt kalium och magnesium vid olika K-AL tal framgår av tabell 12.

Tabell 12. Rekommenderad högsta kvot mellan K och Mg vid olika K-Al klasser. När kvoten är lägre rekommenderas komplettering med magnesium [7].

K-Al Klass	I-II	III	IV-V
mg Mg/100 g jord	<8	8-16	>16
K/Mg kvot	2,5	2	1,5

Forskarna är dock inte eniga i gällande detta samspel och vissa menar att varken K/Mg kvot eller kaliumgödsling påverkar behovet av magnesium [313].

Kalcium

Eftersom magnesium har en tvåvärd laddning liksom kalcium, konkurrerar de om samma plats i näringstransportkedjan. Det gör att de har ett antagonistförhållande [41]. Den utbytbara kalciumjonen dominerar de laddade bindningspunkterna på kolloiderna i jorden, men även magnesium är vanligt förekommande i en välbuffrad jord [29]. För att undvika problem med skalmisfärgning rekommenderas som tidigare nämnts att Ca/mg-kvoten i marken bör hållas under 10 eller över 20 [317].

Nitratkväve

Genom att gödsla med nitrat har man uppmätt en ökad koncentration av magnesium i blad och stam [5, 39]. Det kan bero på att kväve underlättar upptaget av magnesium genom jonbytesmekanismen. En annan förklaring som kan tänkas komplettera teorin är att kvävet fördröjer nedvisning, vilket bidragit till förlängd transport av ämnet till roten från blasten [318]. Då man istället använt sig av ammonium har ett försämrat upptag av magnesium uppmätts [286]. I andra försök har det även uppmätts en reducering av nitratinnehåll i potatisen efter gödsling med magnesium [319].

Mikronäringsämnenas påverkan på potatis

Även om plantan endast behöver mikronäringsämnen i en låg koncentration är de helt nödvändiga för att plantan ska kunna utvecklas normalt. För de flesta mikronäringsämnen är det inte den totala koncentrationen i jorden som är viktig utan tillgängligheten för växterna. Det styrs av jordens egenskaper och påverkas av olika odlingsåtgärder. De grundämnen som oftast klassificeras som mikronäringsämnen är järn (Fe), zink (Zn), bor (B), mangan (Mn), klor (Cl), koppar (Cu), nickel (Ni) och molybden (Mo). Innehållet av zink, koppar, molybden och nickel är oftast tillräckligt i mineraljordar, men kan variera kraftigt. Innehållet av järn och mangan är mycket högt i mineraljordar medan mulljordar ofta har lågt totalt innehåll av alla mikronäringsämnen. Innehållet av bor är lågt i många jordar i Sverige och av mikronäringsämnena är det främst bor som man kan behöva tänka på att tillföra. För alla övriga mikronäringsämnen gäller i princip att de räcker till för växterna om man tillför organiskt material, förutsatt att förhållandena i jorden är gynnsamma [22]. Potatis som odlas på kalkrika marker med ett högt pH riskerar att få brist på flera mikronäringsämnen om tillförseln av organiskt material är lågt och om det dessutom tillsätts en olämplig sammansättning av mineralgödsel [320].

Järn (Fe)

I berggrunden och i de jordarter som finns i landet uppträder järn i stor omfattning. De finns i de mörka bergartsbildande mineralen samt som silikat [321]. Järnets dåliga löslighet vid neutralt eller basiskt pH gör att dess oorganiska form kan bli otillgänglig för plantorna, trots att järn är ett av de vanligaste ämnena i jorden [322].

Funktion

Ämnet har en viktig roll som komponent av flera viktiga enzymer [43] och vid flera cytokromprocesser i cellmembranen som bidrar till elektrontransportkedjan [23, 323]. Järn är nödvändigt för uppbyggnaden av ett enzymsystem involverat i klorofyllproduktionen [23, 323]. Produktionen av klorofyll har setts minska både vid för låg järnkonzentration (0,001 mM) och vid för hög koncentration (högre än 0,1 mM). Vid minskad produktion av klorofyll minskar fotosyntesen och ger upphov till minskad biomassa [324]. Järn är även en viktig del av proteinsyntes och rotspetsens meristemtillväxt [323].

Upptag

Järnets joner tas upp av roten genom diffusion och massflöde [323]. Vid brist visar sig symptomen som kloros mellan ledningsbanorna hos de nya bladen. När bristen är omfattande eller långvarig blir även ledningsbanorna klorotiska, vilket gör att hela bladet blir vitt [43, 323]. Järn har endast en begränsad mobilitet genom bladets floem och nästan obefintlig rörlighet i stammen. Symptomen syns därför först på de yngre bladen. Ämnets immobilitet är orsaken till att koncentrationen blir som högst i den vissnande stammen där ämnen med större mobilitet omlokaliserats [312].

Brist uppstår lättast på kalkrika, sand- eller mossjordar. Brist kan även uppstå på grund av skador från skadedjur, sjukdomar eller pesticider [325]. Det har observerats att järnets löslighet minskar tydligt då pH ökar från 5,5 till 8. Det tros bero på att ämnet bildar oladdade och olösliga hydrat- och hydroxyföreningar [46]. I försök har bristsymptom syns redan efter 15 dagar vid en koncentration av 0,001 mM Fe [43].

Under anaeroba förhållanden, som till exempel vattenmättad jord, reduceras Fe^{3+} till Fe^{2+} . Processen bidrar till att öka ämnets löslighet till markvätskan [323]. Toxiska symtom vid höga koncentrationer i mark har visat sig som kloros av de äldre bladens bas då koncentrationen översteg 0,1 mM Fe. Klorosen sprider sig senare utåt mot bladspetsen [324]. Symptom kan även ses som en bronsfärgad ton av bladen med små bruna prickar [323].

Skördepåverkan

Skördenivå, storleksfördelning och stärkelsehalt

Få fältförsök har utförts som studerat järnets påverkan på skördenivån [326], men några grundläggande växthusförsök har utförts [327, 328]. De har visat att både brist och överskott på järn ger en skördeminskning, mindre knölar, försämrad kvalitet genom minskning av socker, stärkelse och protein i skörden. Eftersom försöken utfördes i växthus i krukor är givorna svåra att omsätta till praktisk fältodling. Men det framgår att nivåerna varierade från extremt låg till extremt hög då både de högsta och de lägsta givorna bara gav en tredjedel så hög skörd som optimal giva, ännu större skillnader uppmättes i stärkelsehalt. Så det är tydligt att järnbrist och järntoxicitet kan orsaka stora skördenedsättningar. Järnkonscentrationen i knölen mätt 110 dagar efter uppkomst varierade mellan 43 och 107 $\mu\text{g/g}$ ts och steg med stigande järngivor. Högs skörd uppmättes i de led där järnkonscentrationen i blast respektive knöl var ca 50 $\mu\text{g/g}$ ts [327]. Frågan kvarstår om gödsling med järn under svenska förhållanden påverkar skördenivån i potatis.

Sjukdomar och kvalitet

Kokkvalitet

Fenomenet med mörkfärgning av kokt, stekt eller torkad potatis beror på oxidering av ett järnkomplex ($\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{O}_9 - \text{Fe}^{2+}$) som formar Fe^{3+} med klorogensyra i kontakt med syre [329-331]. Det har dock inte kunnat konstateras någon korrelation mellan mörkfärgning och brist eller överskott på järn i odlingsjorden [330].

Analysmetod

Jordanalys

För att analysera koncentrationen av järn används ett flertal olika metoder [323], men i Sverige är det framförallt analys i EDTA som används. Med den metoden beräknas brist uppstår när koncentrationen i mineraljord är under 120 mg/kg lufttorr jord (eller 150 mg/liter). För mulljordar är gränsvärdet något högre [332].

Vävnadsanalys

Att mäta järninnehåll i växten kan vara vanskligt då plantan kan uppvisa bristsymptom trots att höga nivåer finns i plantan [333], vilket visar på svårigheten att diagnosticera brist [328]. Förklaringen är att plantan tar upp järn, men kan ha svårt att förflytta joner i vävnaden när stabilare former bildas.

Det finns trots det utvecklat råd om ett ungefärligt gränsvärde som indikerar om järnnivån är tillräckligt hög. Järnhalten i bladet bör ligga mellan 50-150 ppm, när plantan är 30 cm

hög, för att tillfredsställa potatisgrödans behov. Senare på säsongen är det tillräckligt med 40-100 ppm [27]. Starck *et al.* (2004) rekommenderar att nivån i prov från fjärde fullt utvecklade bladets bladskaff under knöltillväxtfasen bör ligga mellan 20 – 50 ppm Fe för sorten Russett Burbank [69]. Eftersom järnbrist som tidigare nämnts är svårt att bestämma genom vävnadsanalys har det utvecklats en biologisk testmetod som bygger på att lägga bladet i en reaktiv vätska som ändrar färg när det finns tillräckligt med järn [27].

Gödslingsstrategi

Mineralgödsel

En vanlig typ av gödning för att motverka järnbrist är järnsulfat (FeSO_4) och järnkelat [322, 323]. Olika exempel på kelat som används är citronsyra, askorbinsyra, malat, fosfat och EDTA. Kelatet motverkar att järn fastläggs i jorden och underlättar upptag [330]. Både järncitrat (50 g Fe/kg) och järnsulfat (20 g Fe/kg) är tillåtet att använda i ekologisk odling enligt EU:s regelverk [34]. Det är svårt att korrigera en järnbrist i plantan i efterhand, även med återkommande bladgödsling och kelaterade järngödselmedel [323].

Pellets

Biofer 6-3-12 är ett specialgödningsmedel som innehåller 349 mg järn/kg. Det är godkänt att användas även inom ekologisk och KRAV-certifierad produktion [34].

Bladgödsling

Bladgödsling ger det mest effektiva upptaget då järnsulfat (FeSO_4) eller någon av de kelaterade (EDTA eller EDDHA) används [323].

Synergi och antagoni

Kalium

En hög koncentration av kalium har observerats öka plantans upptag och mobilitet av järn och därmed dess järninnehåll i alla vävnader. Kalium verkar underlätta plantans omvandling av järn till klorofyll [250, 323].

Fosfor

Efter undersökningar från 1949 på sorten Majestic, drogs slutsatsen att fosfor kan minska förflyttning av järn i bladets ytskikt [250]. Det förklaras med att bikarbonatanjoner bromsar järnets transport inom plantan. Pais & Benton (1997) föreslår att en P/Fe kvot på 29:1 är lagom för de flesta växter [323].

Zink, mangan och kalcium

Hög zinkkoncentration stör järnmetabolismen, vilket kan ge bristsymptom för järn [323]. I försök på 2000-talet har forskare sett en tydligt korrelerad minskning av manganupptaget vid gödning med en stigande koncentration järn [324]. När en forskargrupp analyserade blad efter att man tillsatt kalciumkarbonat (HCO_3^-) till jorden uppmättes en minskad järnkoncentration [250]. Eftersom järnjonen har sämre löslighet vid högt pH är det naturligt att upptaget försämras vid kalkning.

Mangan (Mn)

Växttillgängligt mangan (Mn^{2+}) är ett vanligt förekommande spårämne i berggrunden. I sediment och jord har ämnet även laddningen Mn^{3+} samt Mn^{4+} [323, 334]. Potatis är en av

de grödor som är känsligast för manganbrist men är även känslig för en allt för hög koncentration [323].

Funktion

Mangan är en viktig komponent i enzymer som aktiveras av katjoner. Dessutom är det involverat i elektron-transportsystemet i fotosyntesen [23]. Ämnet är essentiellt för fotolysen i fotosystem II, har en viktig funktion för ATP och flera enzymkomplex [323].

Upptag

Manganets tillgänglighet minskar med stigande pH värde i jorden vilket medför en minskning av mangan i markvätskan och i växten då pH höjs med kalkning [335]. Ämnet bildar svårösliga hydroxidföreningar då pH höjs till omkring 7 [46, 323]. Manganbrist hos plantor ses framför allt på sand- eller mossjordar där pH är högre än 6,5. Varma torrperioder eller kraftiga regn kan minska upptaget [336]. Ämnets tillgänglighet reduceras av låg temperatur och ökat innehåll av organiskt material [323, 336]. Upptaget kan även minska vid skador av skadedjur, sjukdomar och pesticider [325].

Symptomen är reducerad tillväxt med kloros i form av små nekrotiska prickar mellan bladnerverna på de nyaste bladen [43, 323] (figur 19). Ämnet har mycket låg mobilitet i plantan och kan därför inte flyttas runt till den del som behöver det mest [312]. Knölen innehåller en ganska låg procent av hela plantans manganinnehåll, ca 25 %. Huvuddelen av ämnet återfinns i skottet, ca 85 % [10].



Figur 19. Manganbrist syns som små svarta prickar mellan bladnerverna.

Tidiga och sena sorter verkar ta upp lika mycket mangan, vilket tyder på att behovet troligen inte är sortberoende [337]. Blastens innehåll av mangan ökar från 0,06 % av torrsubstansen vid uppkomst till ca 0,17 % 90 dagarna senare i en nästan rätt linje [312].

Skördepåverkan

Mangangödsling görs nästan helt uteslutande via bladgödsling, även om Mn följer med i vissa fullgödselmedel som bredsprids. Potatis är en av de grödor som svarar starkast på mangangödsling och skördeökningar runt 10 % är inte ovanliga vid bristsituationer [143, 326, 338-341]. I ett svenskt försök utfört av Hushållningssällskapet i Skara har det observerats en något ökad skörd i ett gödslingsförsök med Mantrac. Försöket utfördes på en jord som konstaterats ha låg manganhalt [342].

I en ny iransk studie gällande mangangödsling sågs en stor skördeökning och förbättrad kvalitet efter bladgödsling med mangansulfat innehållande 4 ppt Mn (ppt = biljondel, 10^{-12}). Försöket utfördes på en jord med pH 7,8 och behandlingen gjordes vid två tillfällen, dels 10 dagar innan blom och dels 20 dagar efter blom. Skördeökningen var 15 % och antalet knölar ökade med 7,5 %. Även stärkelsehalten steg med ca 1 % från 20,2 till 21,3 % vid en giva på 4 ppt Mn jämfört med det ogödslade ledet. När givan dubblades till 8 ppt Mn

sjönk skördenivån, knölantals och stärkelsehalt vilket är i linje med andra försök [343, 344]. Bäst skördeeffekt uppnåddes då 4 ppt Mn kombinerades med 8 ppt Zn. Då steg stärkelsehalten till 23,2 vilket är en ökning med 3 % jämfört med det ogödslade ledet [238].

Ett försök där man jämfört olika tillförselstrategier för mangan visade sig bladgödsling med 0,2 % mangansulfatlösning vara effektivare än både tillförsel till jorden och tillförsel till sättknölen [326].

Sjukdomar och kvalitet

Vanlig skorv

Mangan frigörs i jorden vid lågt pH och fukt samtidigt som vanlig skorv (*Streptomyces scabies*) minskar i förekomst. Det gör att det finns hypoteser om att mangan är toxiskt för vanlig skorv [41, 345]. Ett högre innehåll av bland annat mangan har uppmätts i skalet på potatissorter som är känslig för skorv [337].

Redan 1961 fann Mortvedt *et al.* att 2-20 mg Mn/l reducerade utvecklingen av skorv i labbförsök [346]. När McGregor och Wilson (1966) applicerade 31 till 62 kg mangansulfat per hektar på manganfattiga jordar med pH 6,2 till 6,9 reducerades skorv i samtliga behandlingar. Det gav även en individuell viktökning (4 % - 64 %) i förhållande till kontrollen [347]. Vid högt pH i marken har bladgödsling med kelaterat mangan konstaterats ha en reducerande effekt på skorv [348]. En möjlig förklaring till mangangödslingens effekt är att riklig tillgång till mangan ökar resistensen mot sjukdomar genom dess roll som kofaktor till enzymer involverade i oxidation/reduktion eller vid direkt oxidering av fenoler. Om så är fallet kan det behövas alltför hög mangankoncentration för att ge en stark reduktion av sjukdomen jämfört med plantans optimala nivå [41]. En annan möjlig förklaring är att svavlet i mangansulfatet bidragit, se avsnitt om svavel och sjukdomar.

Groddbränna

Marksmitta av groddbränna (*Rhizoctonia solani*) har setts minska med 11-25 % på potatisen vid gödsling med 62 kg mangansulfat/ha [347]. Det framgår inte helt tydligt att det är manga som är orsak till minskningen, så möjligen är det den fytotoxiska effekten av vätesulfid H₂S som ger effekten.

Analysmetod

Jordanalys

För att analysera koncentration av mangan används ett flertal olika metoder [323], men i Sverige används framförallt metod Ståhlberg med 0,5 Mg(NO₃)². Enligt metoden föreligger en brist när koncentrationen är lägre än 0,8 – 2,0 mg Mn/kg (eller 2 till 5 kg Mn/ha vid 20 cm provdjup) [332].

Vävnadsanalys

För att brist eller överskott inte ska ge skador på potatisplantan behöver vävnadens koncentration vara ca 30-250 ppm Mn av ts vikten då det senast full utvecklade bladet under söks 25 dagar efter uppkomst [27, 323]. Starck *et al.* (2004) rekommenderar att

nivån i prov från fjärde fullt utvecklade bladets bladskaff under knöltillväxtfasen bör ligga mellan 20 – 40 ppm Mn för sorten Russett Burbank [69].

Gödslingsstrategi

Bladgödsling

Bladgödsling är den mest effektiva metoden för att korrigera en konstaterad brist, eftersom gödsling av jorden kan ge en fastläggning [69, 323]. De gödningsmedel som framförallt används för bladgödsling är mangansulfat, manganoxid och mangankelat [323]. Vinass 4-0-4 (34 mg Mn/kg), mangansulfatlösning (150 g/l) och mangankarbonat (500g Mn/l) är flytande manganprodukter tillåtna att användas i ekologisk produktion. För tillfället (2011) är det endast NoroTec Mangan (150 g Mn/l) som är tillåtet enligt KRAV:s riktlinjer. Produkten består av mangansulfat [34].

Mineralgödsel och pellets

Fast mangansulfat (24,6 % Mn) finns att tillgå och den är även tillåten att användas i ekologisk produktion enligt EU:s regelverk [34]. Även den pelleterade Bioferen 6-3-12 innehåller 9,0 mg mangan/kg och är tillåten att användas enligt KRAV [34].

Bredspridning och radgödsling

På jordar med neutralt till lågt pH kan mangan bredspridas och myllas ner innan sättningen om brist konstaterats. En giva på ca 5 - 11 kg Mn/ha rekommenderas. När odlingen sker på kalkrika jordar är det i stället en fördel att radgödsla eller bladgödsla grödan för att minimera att mangan fastläggs. Ca 5 kg Mn/ha rekommenderas som giva och den bör placeras nära knölen [69].

Synergi och antagoni

Fosfor och svavel

Jordar med hög koncentration av fosfor har visat sig ge en ökning i upptag av mangan [349]. Svavelgödsling sänker pH värdet och har gett ett ökat manganupptag [41].

Kalcium

Kalkrika jordar och kalciumgödsling försämrar manganets löslighet vilket gör att plantans upptag minskar och det kan ge upphov till brist [44, 143].

Järn

I studier har det observerats att manganupptaget minskar vid en ökad giva av järn med EDTA. Järn reducerar manganrik vävnad och minskar dess upptag genom att stoppa transport från rot till skott [324].

Bor (B)

I Sverige har många odlingsmarker låg koncentration av bor [222]. Bor har laddningen B^{3+} som jon, men förekommer även ofta som de oladdade molekylerna bortrioxid (B_2O_3) och borsyra (H_3BO_3 eller $B(OH)_3$). Potatis anses vara en gröda som är mycket känslig för hög koncentration av bor [323] vilket gör att gödsling endast ska göras när brist har konstaterats.

Funktion

Plantan behöver bor för att stärka cellväggarna genom produktion av lignin [20, 23] och tillsammans med växthormonet auxin skapa xylemvävnad där plantan transporterar vatten [350]. Bor är även viktigt för att plantan ska kunna flytta runt kolhydratrika substanser som bildas i bladen och transporteras till roten [90, 351]. Man tror även att bor är viktigt vid syntetisering av en av baserna i RNA och vid ett flertal andra viktiga cellulära utvecklingsstadier [323]. Dessutom underlättar bor utvecklingen av adventiva rötter [350].

Upptag

Upptaget sker framförallt i xylemet, men ämnet är relativt immobilt i plantan. Upptaget sker genom diffusion och massflöde med markvätskan [323]. Lösligheten och koncentrationen av bor i markvätskan är som högst vid lågt pH och minskar vid kalkning, med en stark minskning efter pH 7 [46]. I lerjordar med högt pH sjunker tillgängligheten på bor eftersom bor framförallt tar formen som boroxoanjon ($B(OH)_4$) som binder till de positiva lerpartiklarna [1, 352]. Både borsyra och oxoanjoner är lösliga i lågt mark-pH [46]. I laborationer har det observerats att bor är ett av de ämnen som i mycket liten utsträckning binder till kolloider med ursprung i organiskt material [31], vilket kan bero på att det framför allt förekommer som neutralt laddad borsyra (H_3BO_4) som inte adsorberas av de negativt laddade kolloiderna i jorden [20, 90]. Det gör att bor har en hög benägenhet att röra sig genom jordprofilen med nederbörden och ut med dräneringsvattnet [323]. Brist hos plantor uppstår av den anledningen framförallt på lätta sandjordar med lågt organiskt innehåll och vid hög nederbörd [90]. Brist förekommer även på rena mulljordar [323]. Skador från skadegörare, sjukdomar och pesticider kan öka risken för brist [325].

Karakteristiska symptom på borbrist är svart nekros av unga blad med början vid bladbasen och bladspetsar på grund av att celledelning uteblir (figur 20). Det gör att plantorna förlorar den apikala dominansen och blir buskiga. Stammar blir stela och sköra. Rötter och knölar riskerar att få nekros och abnorm tillväxt när vävnaden bryts ner [43, 323].



Figur 20. Borbrist i potatis. De unga bladspetsarna får nekrotiska fält på grund av utebliven celledelning.

Senare på säsongen när de ovanjordiska delarnas färskvikt minskar, ökar det procentuella innehållet av bor kraftigt [9, 43]. Bor tenderar att ackumuleras i bladkanterna och koncentrationen kan vara 5-10 gånger högre än vad som uppmäts i resten av bladet, vilket kan ge gula och senare nekrotiska bladspetsar. Bladen faller ofta av i förtid [323]. När gräs använts som modellväxt har man sett att borupptaget i roten var som störst vid pH 6-7 [47].

Skördepåverkan

Skördenivå och storleksfördelning

I en sammanställning av olika forskningsresultat har det visat sig att borgödsling mycket sällan gett ökad skörd. Då borbrist oftast uppstår på lätta jordar med låg mullhalt och potatis ofta odlas på just dessa jordar tilläggs gödslar man ofta med bor trots att brist inte konstaterats. Man har också visat i studier att borhalten i marken inte är något tillförlitligt mått på om grödan svarar på en borgödsling eller inte. Trots det rekommenderar man på många håll i världen att borgödsla om nivån i marken är under 0,5 mg B/kg jord. Andra riktvärden för borgödsling ligger på 0,2 mg B/kg [353].

Det finns dock försök som visat att borgödsling kan ge stora skördeökningar [354]. I extrema fall har borgödsling gett 15-20 % högre skörd och upp till 3 % högre stärkelsehalt [355]. Lämpliga gödslingsnivåer ligger kring 1-2,5 kg B/ha enligt ett flertal studier [339, 353, 355].

Vid för höga borhalter i marken eller vid höga tillförselnivåer är det stor risk för att bor sänker skörden. Även i de fall där bevattningvattnet innehåller bor kan toxicitet vara ett problem [353]. Försök har visat att det kan räcka med 4,5 kg B/ha för att toxicitet skall bli ett problem [356]. Det finns alltså all anledning att studera lämpliga riktvärden för jordens borinnehåll i Sverige, i relation till gödslingsrekommendationerna för bor till potatis.

Sjukdomar och kvalitet

Det har uppmätts en minskning av mättat fett till fördel för omättat fett i potatis vid gödsling med bor. Man har sett en ökning av askorbinsyra efter gödsling med bor, vilket gör potatisen mer näringsrik [351].

Rostfläckighet

Borbrist kan ge upphov till invändig nekros eftersom ämnet är involverat i att stabilisera cellen [39]. Om potatisen har haft otillräckligt med bor under odlingen kan mer enzymatiska färgfläckar efter skörd uppstå [351].

Bladmögel

Bor har även visat sig kunna inducera ett försvar mot bladmögel. Ämnet motverkar inte bladmögel men kan tillsammans med ett bladmögelpreparat ge något bättre effekt än om svampmedlet körs separat [357].

Kokkvalitet

Potatisens fasthet har visat sig vara korrelerad med gödsling med bor [351].

Analysmetod

Jordanalys

Den vanligaste metoden, och också den som används i Sverige för att analysera borinnehåll i marken är en extraktion med varmvatten. Den kritiska nivån för att undvika brist ligger då på 0,5 mg/kg jord [98]. Andra riktvärden som nämns är 0,2 [353] och 0,5-1 mg/kg [332]. Ungefär samma koncentration är även aktuell när analysen sker med DTPA-metoden [69]. Många andra metoder har börjat användas då de är enklare, billigare och

flera näringsämnen kan analyseras samtidigt. Exempel på dessa metoder är tidigare nämnda DTPA-sorbitol, varmvatten under tryck och Mehlich III [353].

Växtanalys

För att brist eller överskott inte ska ge skador på potatisplantan behöver vävnadens koncentration vara ca 10-20 mg B/kg (DM) i prov från fjärde fullt utvecklade bladskaftet 25 dagar efter uppkomst [69, 139, 181]. Andra menar att koncentrationen för tvåhjärtbladiga växter bör vara högre och i stället ligga mellan 40-70 mg B/kg (DM) [323]. Det bör dock tilläggas att den optimala borhalten i bladen, liksom för andra näringsämnen, skiljer sig åt mellan sorter [358].

Gödslingsstrategi

Det är viktigt att inte ge för mycket bor till unga plantor då det kan ge en toxisk effekt [90]. Spannet mellan underskott och ett skadligt överskott är mindre än för något annat näringsämne. Oavsett vilken metod man än väljer för appliceringen så är det fördelaktigt att dela upp givan [90].

Mineralgödsel

Den vanliga mineraliserade formen av bor är Borax [359]. Borat och borax är exempel på några andra borhaltiga produkter [323]. De vanligaste gödselmedlen för potatis i Sverige, Promagma 11-5-18, och 8-5-19 innehåller 0,03 viktsprocent bor vilket ger 0,3 kg B/ha om 1000 kg av produkten tillförs [35]. Borsyra (175 g B/kg) och natriumborat (175 g B/kg) finns även tillgängliga och är tillåtna att använda i ekologisk odling [34].

Pellets

Biofer 6-3-12 som rekommenderas till bland annat potatisodling innehåller även 22,2 mg bor/kg produkt [34].

Bredspridning och radgödsling

När en brist konstaterats rekommenderas en giva på 1 - 2,5 kg B/ha som bredsprids innan sättning [69, 323]. I fältförsök har gränsen för toxiska reaktioner legat vid 4,5 kg bor/hektar vid bredspridning [139]. Radgödsling med bor rekommenderas inte då risken för att uppnå en toxisk nivå är för stor [69].

Flytande

Till potatis kör man ofta Bortrac i Sverige. Bladgödsling har fördelen med att dosen kan minskas jämfört med gödsling av jorden. Det gör också att gödslingen kan spridas jämnt över hela vegetationen. Grödan reagerar direkt på gödslingen när den sprids över bladmassan [359]. Det har visat sig vara mer effektivt att sprida bor 1 månad efter uppkomst i stället för 2 månader efter (0,25 kg/ha) [90]. Yara rekommenderar att spruta 0,15–0,45 kg bor/ha snarast efter full uppkomst [35]. Stark et al. (2004) rekommenderar inte bladgödsling eftersom de hävdar att ämnets rörlighet från blad till knöl är för lågt [69].

Vinass 4-0-4 är en flytande gödning som innehåller 10 mg bor/kg. Användning av boretanolamin (150 g B/l) tillåts i ekologisk odling inom EU:s regelverk [34].

Stallgödsel

En annan möjlighet är att blanda bor i stallgödseln innan den sprids. Försök har gjorts kring detta som visar på mycket goda resultat [360].

Synergi och antagoni

Kalcium och kalium

Ett överskott på bor kan ge försämrat upptag av kalcium och minskad planttillväxt. Graden av påverkan beror på potatissort, tillgång på andra näringsämnen och generella växtförhållanden [98, 302]. Ett högt innehåll av kalcium i plantan ökar behovet av bor liksom högt kaliuminnehåll, som ökar bristsymptomen av bor [323].

Zink (Zn)

Potatis räknas som en gröda som är medelkänslig för zinkbrist, men det är ovanligt med brist i Sverige eftersom jordarna har tillräckligt högt innehåll. Lerjordar innehåller mer zink än sandjordar. Torvjordar har ofta lågt innehåll och dess utom är endast ca 1-4 % av jordens zinkinnehåll i löslig form. Zink förekommer i markvätskan bland annat som Zn^{2+} [323]. Användning av avloppsslam kan i vissa fall ge toxiska nivåer av zink i matjorden [323].

Funktion

Zink är essentiellt för plantans metabolism och är en del av ett flertal viktiga enzymer och proteiner [323]. Ämnet är även viktigt för metabolismen av kolhydrater och konverteringen av socker till stärkelse [143].

Upptag

Zink tas till största delen upp genom diffusion från jord till rot [144]. Ämnet är delvis mobilt och rör sig genom floemet från blad till knölen [69]. Upptaget varierar kraftigt mellan olika sorter av potatis, vilket har visat sig bero på förhållandet mellan rot och skott. Ett mindre rotsystem i förhållande till skott ger ett lägre upptag av zink [144].

Det har uppmätts en minskad koncentration av zink i markvätskan vid kalkning då pH stiger [69, 323]. Det förklaras delvis med att zink bildar föreningar med oxider och aluminiumsilikater. Då zink bildar föreningar med organiskt material kan ämnet bli något mer mobilt i lösningen även vid höga pH-värden [46]. Zinkbrist uppstår oftast på sandjord med lågt innehåll av organiskt material [323].

Bristen yttrar sig genom minskad tillväxt, kloros mellan kärnen på de unga bladen, klorotiska eller bruna blad, små eller abnormt formade blad som i vissa fall bildar en rosettliknande form [323] (figur 21). Bladen vänder ofta uppåt som en skål. I vissa fall får bladen oregelbundna prickar med död vävnad på de gamla bladen, eftersom ämnet är mobilt. Skörden kan i vissa fall minska med mer än 20 % utan att några synliga brister har observerats [43, 143].



Figur 21. Zinkbrist i potatis ger missformade blad och kloros mellan bladnerverna.

För att minska problem med zinktoxicitet efter användande av förorenat avloppsslam kan kalkning minska plantans upptag [323].

Skördepåverkan

I en ny studie från Iran sågs stor skördeökning och förbättrad kvalitet efter bladgödning med en svavellösning innehållande 8 ppt Zn som spreds vid två tillfällen under växtsäsongen i en jord med pH 7,8. Skördeökningen var 32 % och antalet knölar ökade med 16 % [238]. I jordar med tillräcklig nivå av zink uppnår man som regel ingen skördeeffekt, utan kan i stället få en skördesänkning om givan blir allt för hög [361].

Sjukdomar och kvalitet

Även stärkelsehalten steg vid en giva på 8 ppt (Zn) med ca 1,5 % (från 20,7 till 22,1 % stärkelse) jämfört med det ogödslade ledet [238]. Under bristförhållanden kan zinkgödning motverka missfärgning [361].

Analysmetod

Jordanalys

I Sverige används framförallt EDTA analys. Bristen är tydligt korrelerad med jordens pH. I mineraljordar används följande riktvärden [332]:

PH 5,5	brist uppstår vid lägre koncentration än 0,20 mg Zn/kg lufttorr jord
PH 6,0	brist uppstår vid lägre koncentration än 0,35 mg Zn/kg lufttorr jord
PH 6,5	brist uppstår vid lägre koncentration än 0,60 mg Zn/kg lufttorr jord
PH 7,0	brist uppstår vid lägre koncentration än 1,10 mg Zn/kg lufttorr jord

Vävnadsanalys

För att brist eller överskott inte ska ge skador på potatisplantan behöver vävnadens koncentration vara ca 30-200 mg Zn/kg (DM) då man undersökt plantans första färdigutvecklade blad vid 30 cm planhöjd [323]. Starck *et al.* (2004) rekommenderar att nivån i prov från fjärde fullt utvecklade bladets bladskaff under knöltillväxtfasen bör ligga mellan 15 – 20 mg Zn/kg (DM) Zn för sorten Russett Burbank [69]. I ett annat försök i sorten "Monalisa" gav ca 50 mg Zn/kg (DM) i bladskaffet 20 dagar efter uppkomst den högsta andelen säljbar vara. En klar skillnad tycks finnas mellan sorter [362].

Gödslingsstrategi

Gödningen kan appliceras både genom bladgödning och genom att sprida det på jorden [143, 323].

Mineralgödsel

Zinksulfat, ZnSO₄ är den vanligaste formen av gödning i form av spray eller vätska. Det rekommenderas att gödsla jorden innan sådd eller uppkomsten med 11-22 kg zink/ha vid bredspridning av zinksulfat i kelaterad form när man siktar på en skörd runt 32 ton/ha. Den rekommenderade givan måste naturligtvis modifieras beroende på graden av zinkbristen. Givan brukar räcka i upp till fem år [143]. Zinksulfat (272 g Zn/kg) är även godkänt att använda i ekologisk produktion enligt EU:s regelverk [34].

Flytande

För att maximera plantans upptag kan vattenlösliga gödselmedel som zinksulfat (ZnSO_4) användas [69]. Genom att doppa utsädet i zinklösning för att kompensera för lågt innehåll i jorden har det gett samma resultat som bredspridning eller bladgödning till en lägre kostnad [143].

Pellets

Specialgödningsmedlet Biofer 6-3-12 innehåller 84,1 mg Zn/kg vilket begränsar maxgivan till 8320 kg/ha per år under en 5 års period, för att inte överskrida nivån för vad som anses kunna ha negativ effekt enligt KRAV:s regelverk [34].

Radmyllning och bredspridning

Radmyllning förekommer [143] och då rekommenderas en giva på 6 kg Zn/ha [69] men bredspridning verkar kunna ge bättre skörd [143]. Gödningen bör myllas ner innan sättnings 11 kg Zn/ha [69]. De vanligaste gödselmedlen för potatis i Sverige är Promagma 11-5-18, och 8-5-19. De innehåller 0,03 viktsprocent zink vilket ger 0,3 kg Zn/ha när 1000 kg av tillförs [35].

Bladgödning

Ett högt pH i jorden gör att zink binds upp i molekyler och minskar plantans möjlighet till upptag. Det gör att det kan vara effektivare att använda sig av bladgödning än att gödsla marken [238]. Som bladgödning rekommenderas 0,25 - 1,12 kg Zn/ha vid flera gånger under säsongen [143]. Gödningen bör innehålla kelat och är då ett effektivt sätt att snabbt korrigera en brist [69].

Synergi och antagoni

Kalium och fosfor

Det har konstaterats att zink och kaliumupptag har ett samband. När zink finns tillgängligt tar plantan upp mindre kalium, beroende på sort [144]. Det har rapporterats att vid gödning med fosfor minskar potatisplantans transport av zink [69, 323, 363] vilket leder till ett ökat gödslingsbehov [364]. Det är också känt att potatis kan ackumulera toxiska mängder fosfor i plantans ovanjordiska delar när jordens zinkinnehåll är för lågt. Man tror att förmågan att transportera ut fosfor i bladet hämmas, vilket ger upphov till den för plantan skadliga koncentrationen [365]. Genom att gödsla plantan med zink kan ett för högt fosfor upptag minskas. Bladgödning av zink ger även en statistiskt signifikant minskning av fosfor i knölen [238].

Magnesium, koppar, ammonium och kalciumkarbonat

Zinkbrist kan även uppstå vid hög koncentration av magnesium, koppar, NH_4^+ eller kalciumkarbonat [143, 323], vilket är vanligare på kalkrika jordar med högt pH.

Koppar (Cu)

Eftersom fungicider som används i konventionell potatisodling ofta innehåller koppar [69] är risken för brist i de flesta fall försumbar. Det förekommer snarare en ansenlig bioackumulering i odlingsjordar där kemikalier innehållande koppar använts flitigt. Ämnet kan även förekomma i förhöjd koncentration i jord från industriområden samt i rötslam från reningsanläggningar [323].

Funktion

Koppar är en byggsten i kloroplastproteinet plastocyanin och är en del av elektrontransportkedjan som länkar samman fotosystem I och II. Det är även en del av flera enzymer [323], varav vissa är involverade i redoxreaktioner som oxiderar Cu^+ till Cu^{2+} [43].

Upptag

Koppar uppvisar ett komplicerat mönster för lösligheten vid varierande pH som delvis beror av att ämnet bildar svårösliga föreningar med olika ligander. Dessa föreningar har sin största löslighet vid samma pH som för organiskt material. Ämnet har en topp med hög löslighet runt pH 5,2 som sedan sjunker. Den lägsta lösligheten har uppmätts runt pH 6,5 och pH 7,8 men lösligheten har sin andra maxtopp där i mellan vid pH 7,2 - 7,5 [46]. Cu^{2+} förekommer i mycket små mängder i markvätskan och kopparbrist uppstår oftast på sandiga och organogena jordar [323]. Skador från skadedjur, sjukdomar och pesticider kan minska upptaget [325]. Brist är trots allt ganska ovanligt eftersom potatisplantans behov är lågt [323].

Symptom observeras först som mörkt gröna blad med nekrotiska prickar som börjar utvecklas vid bladspetsen. Därefter sprider sig prickarna mot bladbasen längs bladkanten. Bladen kan dessutom bli vridna, deformerade och falla av. Symptomen börjar visa sig på nya vävnader eftersom ämnet inte är mobilt [23, 323].

Det har uppmätts högre kopparupptag i rotgrönsaker, som potatis, i jämförelse med andra grönsaker [323, 366]. Resultaten har föranlett en diskussion om det eventuellt finns någon barriär som gör att ovanjordiska delar skyddas från metaller som annars kan tas upp i toxiska koncentrationer [366]. Symptom på toxiska nivåer av koppar är kloros mellan bladnerverna, vilket beror på en störning i metaboliseringen av järn [323].

Sjukdomar och kvalitet

Potatisbladmögel

Koppar är en ofta förekommande komponent i ett flertal pesticider eftersom det dödar många mikroorganismer. I tester har kopparoxyklorid kunnat minska potatisbladmögel (*Phytophthora infestans*) angrepp med ca 80-90 % när 435 g kopparoxyklorid/l använts [367]. I större studier har minskningen varit så låga som 20-27 % då koppar användes i bekämpningen. I undersökningen ingick 22 olika sorter och utfördes parallellt i 4 länder. Koppar är fortfarande tillåtet som fungicid inom ekologisk produktion i många länder inom EU, där bland annat Sverige är ett undantag [368].

Analysmetod

Jordanalys

För att analysera koncentration av koppar används ett flertal olika metoder [323], men i Sverige är det framförallt analys med HCL som mäter förrådet av koppar. Brist är vanligast på organogena jordar med högt pH. Gränsen går under 20 mg Cu/kg för lufttorr mulljord och 7 mg Cu/kg för mineraljord [323, 332].

Vävnadsanalys

Kopparhalten i bladet bör ligga mellan 7-20 mg Cu/kg (DM) när plantan är ca 30 cm hög [27, 323]. Starck *et al.* (2004) rekommenderar att nivån i prov från fjärde fullt utvecklade

bladets bladskafft under knöltillväxtfasen bör ligga mellan 2 – 4 mg Cu/kg för sorten Russett Burbank [69].

Gödslingsstrategi

Koppar kan appliceras antingen genom bladgödsling eller genom att spridas på jorden [323].

Mineralgödsel

Kopparsulfat (250 g Cu/kg) och koppar (II) oxiklorid (500 g/kg) är kopparrika specialgödselmedel som även är tillåtna i ekologisk odling enligt EU:s regelverk [34].

Pellets

Biofer 6-3-12 innehåller 7,86 mg Cu/kg. Gödningsmedlet är tillåtet i både ekologisk och KRAV-certifierad produktion [34].

Bladgödsling

Eftersom ämnet har en viss mobilitet i plantan fungerar bladgödsling med kopparsulfat eller med kelat tillfredsställande. Det rekommenderas att gödslingen sker under knöltillväxten för att minska eventuell brist [69]. Coptrac (500 g Cu/l) är en flytande gödning innehåller kopparoxid och är godkänt för ekologisk odling [34].

Synergi och antagoni

Järn

Koppar i plantan kan störa järnmetabolismen, vilket kan resultera i järnbrist [323].

Molybden (Mo)

Ämnet tas upp som Mo^{4+} efter omvandling från Mo^{6+} [43]. Den mest lättillgängliga formen för plantans upptag är molybdat oxyanjon MoO_4^{2-} [323]. Molybden är det ämne som behövs i lägst koncentration jämfört med alla andra essentiella näringsämnen [369] och potatis har dessutom ett lågt behov jämfört med många andra grönsaker [323].

Funktion

Molybden har en viktig funktion som beståndsdel i flera enzymer bland annat nitrogenas och nitratreduktas som är involverade i omvandlingen av NO_3^- till NH_4^+ . Om gödslingen huvudsakligen baseras på NH_4^+ minskar behovet av molybden [323].

Upptag

På de jordar där pH är högre än 7 ökar molybdenjonernas (MoO_4^{2-}) löslighet till markvätskan kraftigt [46, 323]. Forskare har sett att rotens upptag är som lägst vid pH 6-7 och ökar vid både högre och lägre pH [47]. De första symptomen på brist uppträder i ett tidigt stadium som kloros mellan ledningsbanorna på äldre blad eftersom ämnet är mobilt [43]. I ett senare stadium drabbas bladkanterna av nekros och blommorna riskerar att falla av [323, 370]. Brist på molybden kan ge kvävebrist när gödningen huvudsakligen består av nitrat, eftersom molybden är viktigt för omvandlingen av nitrat till ammonium [43, 323]. Enzymet katalas ökar i koncentration då plantan utvecklar molybdenbrist [371].

Det är framför allt vissa utdikade torvmossor som odlats upp där molybdenkoncentration visat sig vara mycket låg. Dessa mulljordar har ett pH mellan 5-6 och i vissa fall hög sandhalt. Andra jordar med lågt pH, till exempel rena sandjordar har visat sig ha en mer komplicerad form av molybdenbrist där man misstänker att det föreligger någon form av antagonism med andra ämnen [371].

Många *Solanaceae* är känsliga för molybden i överskott. I potatis visar detta sig som gyllengula blad och knölarna får en gul-röd färg. Färgskiftningarna har visat sig bero på gulfärgade droppar sammansatta av tannin och molybden som formats inne i vävnaden [372].

Sjukdomar och kvalitet

Gödning med Na_2MoO_4 i olika koncentrationer har visat sig kunna minska knölarnas innehåll av glykoalkaloider både direkt efter skörd och efter en tids lagring. Gödning med kontrollerade mängder molybden kan vara ett sätt att öka potatisqualität genom att minska glykoalkaloider och nitrat i knölen [373].

Analysmetod

Jordanalys

I Sverige analyseras koncentrationen i Tamms lösning. Bristen är korrelerad med jordens pH-värde. Mellan 0,5-1,0 mg Mo/l för jord anses vara riktvärdet för att potatisgrödan ska ha normaltillväxt utan brist. Riktvärdet varierar dock med pH värde.

pH 5 brist uppstår vid <0,2 mg Mo/kg lufttorr jord

pH 6 brist uppstår vid <0,05 mg Mo/kg lufttorr jord. Toxiska nivåer nås då molybden koncentrationen överstiger värden >0,8 mg/kg [332].

Vävnadsanalys

Den kritiska nivån ligger mellan 0,1-2,0 mg Mo/kg (DM) planta [323].

Gödslingsstrategi

Mineralgödsel

Natriummolybdat, Na_2MoO_4 , (400 g Mo/kg) används i konventionell odling, men får även användas i ekologisk odlingen enligt EU:s regelverk [34, 373]. Några sammansättningar som används är ammoniummolybdat och molybdentrioxid [323]. Både ProMagma 11-5-18 och 8-5-19 som vanligen används till potatis innehåller 0,002 viktsprocent Mo [35].

Radmyllning och bladgödning

Bladgödning med natriummolybdat 13 v efter sättnig har visat sig gynna nitrat omvandlingen till ammonium. Natriummolybdatnivåer som var högre än 2,5 ppm gav ingen statistiskt signifikant minskning av $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentrationen. Parallellt med dessa resultat minskade även glykoalkaloidinnehållet signifikant mer i bladgödsningsleden (7-9 %) än i radmyllningsleden (5-8 %) [369].

Synergi och antagoni

Mangansulfat och fosfat

Redan 1954 konstateras det att upptaget av molybden hindras av mangansulfat på jordar med lågt pH [371]. Även ren sulfat (SO_4) minskar molybdenupptaget, men magnesium har visat sig kunna öka upptaget [323]. I försök har observerats att de jordar där växterna svarade positivt på molybdengödning var även låga i fosforkoncentration. Det har även konstaterats att fosforgödning ökade upptaget av molybden. Fosforgödning utan molybden verkade ge liknande växtfrämjande effekt som molybdengödsling på mossjord med lågt pH [371].

Nitrat

Gödsling med natriummolybdat i flera olika koncentrationer minskade knölarnas innehåll av $\text{NO}_3\text{-N}$. Det led som fick högst koncentration av molybden hade lägst koncentration av $\text{NO}_3\text{-N}$ i knölna [373, 374].

Klor (Cl)

Klor förekommer som Cl^- i markvätskan [375]. Ämnet sprids till många odlingar genom luften och genom bevattning, eftersom det är vanligt förekommande i naturen och vid förbränning i industrier som till exempel kolkraftverk [376, 377]. I mätningar från Wales uppmäts en årlig deposition av klor genom nederbörd och deposition från moln på ca 120-150 kg/ha. Det är en trolig orsak till att bristsymptom sällan uppstår [377]. Kloriddepositionen till jorden minskar snabbt med avståndet från havet och industrier [235]. Potatis är en av de grödor som anses vara känslig för kloridbrist [323].

Funktion

Klor behövs för att spjälka vatten vid fotosyntesreaktionen som producerar syre. Dessutom är ämnet nödvändigt vid celledelning i hela plantan [43, 235]. K^+ reglerar den osmotiska potentialen tillsammans med klor [235, 375]. Kloridjonerna lagras delvis i vakuolen i bladets celler, där jonerna neutraliseras av Ca^{2+} och Mg^{2+} [378]. I kloroplasten är kloridkoncentration relativt konstant oberoende om kloridhalten är hög eller låg i markvätskan [235].

Upptag

Kloridjonens negativa laddning gör att den inte adsorberas på jordens positivt laddade kolloider vid neutralt till basiskt pH. Det gör att den är mobil i jorden och lätt utlakas vid dessa pH-värden. I jordar med lågt pH och med varierad laddning på kolloiderna är en specifik adsorptionsmekanism involverad [235]. Bristssymptom kan ses på yngre blad [323] i form av vissnande bladspetsar som följs av kloros och nekros. Bladens tillväxt begränsas och får slutligen en bronsaktig färg [43, 379]. Klorbrist uppstår endast i områden på stort avstånd från havet med hög nederbörd [43, 380].

Potatis är en gröda som klarar av att växa i jord med något förhöjd koncentration av rent salt, NaCl [151], men bladen antar en gulaktig nyans [224] som eventuellt ger en minskad fotosyntes. I studier har observerats att celler blir skadade, men återhämtar sig och anpassas till en hög koncentration av NaCl. Omfattningen av toleransen beror på potatissort. Klorid har en toxisk effekt på potatis då koncentration i fullt utvecklade skott

överstiger 12 mg Cl/g (DM) [235]. Symptomen är tidigt åldrande av blad. Bladen blir gula, bladspetsarna och kanterna blir nekrotiska och faller slutligen av [323]. Toxiska nivåer av klorid är i huvudsak ett problem på salthaltiga jordar [380]. Saltstress kan minska med gödsling av CaCl_2 [381].

I danska försök har det uppmärksammats att 40 % av tillsatt Cl, från KCl, följde det nedåtriktade flödet av markvätskan vid nederbörd vilket förklaras med grundämnets inerta beteendemönster. Det antogs troligt att Cl bundit sig till lösta katjoner som Ca eller Mg [244].

Skördepåverkan

Skördenivå och storleksfördelning

Förvånansvärt få försök har undersökt klorets inverkan på skörd och kvalitet, men det verkar ändå som ämnet både kan höja och sänka skörden beroende på tillförd mängd. Det har observerats att skördenivån sjunkit vid klogödsling (200 kg/ha och 400 kg/ha) i både Bintje och Marijke som vuxit på kustnära sand och lerjord. Dessutom försenades uppkomsten, gav färre stjälkar och plantans utveckling saktades ner. Den negativa effekten var mindre på lerjord, vilket tros bero på att den har större vattenhållandeförmåga som ger en utspädningseffekt av kloridjonerna [382]. Positiva skördeeffekter av klor har observerats då 100-200 mg/kg jord tillförts till potatis som odlats i växthus [380].

Stärkelseinnehåll

I försök gjorda redan på 40-talet såg man att stärkelseinnehållet i knölnarna minskade då man använde gödsel som innehöll klor [383]. Även på 50-talet gjordes försök där det konstaterades att klor sänkte stärkelsehalten [384]. För mer information kring klorhaltiga gödselmedel och dess inverkan på stärkelsehalten läs kapitlet "kalium".

Sjukdomar och kvalitet

Stötblått och torrsubstans

Under två år undersöktes effekten av klogödsling på stötblått och andra kvalitetsaspekter av två sorter, Bintje och Marijke. Odlingen utfördes på både sandjord och tung lerjord. Man såg en signifikant reduktion av stötblått i Marijke, men inte Bintje i doser av 0, 200 och 400 kg/ha. Torrsubstansen minskade i båda sorterna på båda lokalerna [382].

Ihållighet och mörkfärgning

Jackson and McBride (1986) observerade att användning av KCl, till skillnad från K_2SO_4 , ökade skörden och minskade förekomsten av ihållighet samt invärtes brun missfärgning. De drog även slutsatsen att klorid minskade känsligheten för värme- och vattenstress [235].

Kokkvalité

Överskott på ämnet kan leda till mörkfärgning vid kokning, men är inte ett av de ämnen som har störst betydelse [281].

Analysmetod

Jordanalys och markvätskeanalys

Kloridkoncentration kan avgöras genom extrakt av mättat jord eller i markvätskan med vakuumpappar eller gipsblocksensorer [235]. Det har observerats en tydlig korrelation mellan kloridkoncentration i markvätskan och upptag i plantan, vilket gör att analys av markvätskan kan ge ett relevant svar om tillgänglighet för plantan [51].

Vävnadsanalys

I studier på potatis har det observerats bristsymptom vid prov på fullt utvecklade skott som innehöll <0,1 mg Cl/g (DM) [235]. Nivåer kring 12 mg Cl/g (DM) har som tidigare nämnts gett toxiska symptom [235].

Gödslingsstrategi

Mängden klorid som plantan behöver är större än för något annat mikronäringsämne [20], men i de flest fall är den tillförda mängden från mineralgödselblandningar tillräcklig utan att mer behöver tillsättas [69, 323]. Ofta rekommenderas klorfattiga gödselmedel till potatis beroende på dess känslighet för ämnet.

Synergi och antagoni

Fosfor

Redan på 60-talet jämfördes kaliumklorid med kaliumsulfid på typiska jordtyper från det nordamerikanska inlandet. I försöket observerades att upptaget av fosfor minskade, vilket verkade kunna förklara en minskad skörd och torrsubstans då man använt sig av gödningen som innehöll klor [385]. Även i hydroponiska försök har det observerats att, bland annat, klorid bromsade fosforupptaget (H_2PO_4). Även längre transport av fosfor från roten till resten växten motverkades. Effekten blev tydligare då koncentrationen höjdes från 0 till 15,5 mM i lösningen [386]. Wang et al (1989) har observerat en optimal kloridkoncentration för det högsta fosforupptaget ligger runt 300-450 mg Cl/kg jord [235].

Kväve

I försök som utförts på kalkrik sandjord observerades även ett antagonistförhållande mellan nitratkväve och klor [154, 323], vilket innebär ett minskat kloridupptag vid gödning med NO_3^- [235]. Potatis som gödslats med NH_4^+ tar ofta upp betydligt mer av anjonerna klorid och fosfor än om de gödslats med NO_3^- [235].

Nickel (Ni)

Inledning

Nickel är ett vanligt förekommande ämne i jorden [387]. Det finns, både i olöslig form som sulfider och som silikater, men dessutom i flera lösliga former. Direkt utlakning från berg och sediment kan ge höga och skadliga koncentrationer av nickel i vatten, både som olösliga partiklar och i löst form, Ni^{2+} [388]. Ämnet ackumuleras i jorden på grund av ökande nickelutsläpp till atmosfären från industrier. Även stallgödsel innehåller nickel som bidrar till ackumuleringen [389].

Funktion

Nickel är en essentiell komponent av enzymet ureas som bryter ner urea i plantan och ämnet behövs för hydrogenas [231, 387]. Man har sett att plantan behöver mer nickel när urea är den ända kvävekällan. Nickel används i ett flertal enzymatiska reaktioner [390] som även påverkar potatisgrödan. Potatis räknas som en av de växter som får minskad tillväxt när nickel saknas [227].

Upptag

Lösligheten för nickel vid olika pH-värden uppvisar en U-formad kurva där den lägsta lösligheten ligger mellan pH 6-7. Då pH höjs från 7 till 8 efter kalkning ökar nickels löslighet, vilket förklaras med att komplex av organiska ämnen bildas vars löslighet är hög vid dessa pH-nivåer [46]. Bristsymptom har framförallt observerats i vedartade perenner där bladen blir små och svartfläckiga. Symtomet länkas till en toxisk ackumulering av oxal- och mjölksyra i de snabbt växande spetsarna och kanterna av små blad [391].

När potatisplantan utsätts för skadligt höga koncentrationer av nickel minskar tillväxten. De nya och yngre bladen utvecklar även en diffus kloros med början från basen. Klorosen övergår till nekros i ett senare stadium då även bladkanterna krymper och brister eller vänds inåt.

Skördepåverkan

En tydlig minskning av torrsvikt per gram per planta syns redan mellan koncentrationerna 0,0001 och 0,05 mM Nickel [392]. Trots ämnets toxiska effekt kan tillförsel i vissa lägen ge stora skörde- och stärkelseökningar [393].

Gödslingsstrategi

Eftersom det finns många indikationer på att nickel har en negativ effekt på människans hälsa avråder vissa forskare helt från att applicera extra gödning utöver det som redan finns i jorden, vattnet och i luften [388].

Flytande

Vinass 4-0-4 innehåller 6,50 mg Ni/kg. Det relativt höga innehållet av nickel begränsar maxgivan av Vinass till 5 300 kg/ha per år för att inte riskera att nå upp till skadlig koncentration efter 5 års gödning enligt KRAV:s regler. I praktiken överskrids normalt inte den gränsen eftersom produkterna vanligtvis tillförs i mindre mängd än 1000 kg/ha [34].

Pellets

Biofer 6-3-12 innehåller 1,57 mg Ni/kg [34].

Synergi och antagoni

Järn och fosfor

När jorden har ett överskott på nickel bromsas transporten av järn i plantan, men upptaget till rötterna fortsätter. Man tror att det beror på att nickeljonerna ersätter andra joner som kontrollerar upptag och transport. Det har observerats att fosforkoncentrationen ökat i alla delar av växten vid förhöjda nickelhalter i jorden. Störningar i fosfor och järnupptag eller plantans interna transport tros vara anledningen till en minskad tillväxt och reducerad biomassa när nickelkoncentrationen är för hög i jorden [392].

Zink, mangan, kobolt, kalcium och magnesium

Det har observerats störningar i metabolismen av nickel från andra tungmetaller [392], som till exempel zink, mangan och kobolt. Även kalcium och magnesium verkar bromsa upptaget av nickel.

Hjälpämnenas påverkan på potatis

Det har noterats att flera näringsämnen verkar ha en växtfrämjande effekt, men man har fortfarande inte lyckats påvisa att hjälpämnena är livsnödvändiga för växten.

Kisel (Si)

Kisel är det näst vanligaste ämne på land [20, 42], men trots det är dess tillgänglig för plantan vanligtvis låg [394]. I den svenska berggrunden och i jordarterna i landet uppträder kisel huvudsakligen i två former, dels som rena kvartsmineral och dels som silikater [42, 395]. Ämnet uppträder i jonform som Si^{4+} [323].

Funktion

Ämnet används i cellväggen, i intercellulära utrymmen och i det endoplasmatiska nätverket. Det fungerar ungefär som lignin genom att det stärker cellväggen [43]. Kisel har även observerats minska toxiciteten av flera tungmetaller [43, 323]. Kisel verkar dessutom styra den osmotiska regleringen i plantan [394]. Dessutom minskar ämnet effekterna av abiotisk stress; till exempel saltstress, torra, strålning, näringsobalans, hög temperatur och köld [396]. Mekanismen verkar styras av aminosyran prolin, vars koncentration ökar i vävnaden vid torra och saltstress för att sedan metaboliseras när plantan återhämtar sig [394]. Delar av den skyddande effekten tillskrivs även plantans förmåga att ackumulera höga koncentrationer av kisel på vävnadens yta [396].

En ökning av taniner uppmättes i de plantor som fått kisel applicerat både till jord och genom bladgödsling. Det har även observerats en ökning av lignin i plantans blad. I försöken sågs effekten både efter bladgödsling och efter gödsling av marken. Det gav en inducerad resistans mot bladlöss av arten *Myzus persicae* [397]. När potatisplantor behandlats med upplöst kisel har det dessutom uppmätts en minskning av uppförökning och sämre hälsa hos *M. persicae* [398].

Upptag

När markens vatteninnehåll minskar ökar kiselkoncentrationen i lösningen, vilket resulterar i ett större kiselupptag hos plantan [43]. Plantor med kiselbrist får sämre styrka i sin vävnad och stjälkarna kan bli hängande. Dessutom är de mer mottagliga för svamp- och bakterieinfektioner [43, 396]. Kisel löses ut till markvätskan i större utsträckning vid låga pH värden än då jorden kalkats till $>\text{pH } 7$ [46, 323]. Enligt Pais & Benton har ämnet högre löslighet i basiska förhållanden, men det påverkas starkt av jordens innehåll av organiskt material och andra mineraler som aluminium, kalcium, järn och fosfor [323].

Skördepåverkan

Skördenivå och storleksfördelning

I försök har det uppmätts en mätbar och signifikant skördeökning när kisel har applicerats som gödning i marken. Kiselgödning har gett ökad medelvikt för potatis [394].

Bladlus

I försök har det forskare uppmätt en effektiv reducering från kolonisering av bladlusen *Myzus persicae* efter bredspridning av kiselsyra. Effekten har varit jämförbar med användandet av halv dos av pesticiden imidacloprid (126 g/ha) [399].

Gödslingsstrategi

Bredspridning & bladgödning

I försök har både bladgödning med kiselsyra (1 %) och spridning på jorden med samma koncentration (250 ml) gett en ökning av lignin i bladen. En ökning av taniner uppmättes i de plantor som fått kisel applicerat både genom upptag från jord och genom blad [397].

Natrium (Na)

Natrium förekommer naturligt som aerosol från havet och innehållet i jorden minskar med avståndet från havet [400]. Till skillnad från potatis är det framförallt C4 växter och halofyter som har behov av natrium [20].

Funktion

Natrium förekommer som Na^+ och stimulerar tillväxt genom cellexpansion [43] och kan i vissa fall ersätta funktionen av kalium då mycket låga koncentrationer av kalium funnits tillgängliga för växtens upptag [23].

Upptag

Natriumjonen har kemiska likheter med kaliumjonen, båda är mobila inom plantan och förmodas tas upp genom ickeselektiva katjontransportörer, framförallt kaliumkanaler [401, 402]. Dessutom finns det transportörer som tros vara specifika för natrium. Deras huvudfunktion är troligen att göra växten mer salttolerant genom att transportera salt ut ur roten, in i vakuolen eller in till skottets floem för att där bli exporterad till roten [21].

Natriuminnehållet i bladen minskar i en nästan rät linje från uppkomst till 90 dagar efter uppkomst, men den fördubblas i stammen fram till 120 dagar efter uppkomst [312]. Det har observerats en tydlig minskning av natrium i markvätskan när pH i jorden ökar från 5,5 till 8 genom kalkning [46].

Skördepåverkan

Skördenivå och storleksfördelning

I försök från 50-talet observerades att blasten förblev grön 7-10 dagar längre för tre led som gödslats med natriumnitrat NaNO_3 jämfört med kalciumnitrat $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Det bidrog dessutom med en skördeökning på 14 % [384]. I en bladgödslingsstudie utförd på 90-talet observerades en skördeökning på 4,2 % efter gödning med natrium [403].

Sjukdomar och kvalitet

Fusarium

Torröta (*Fusarium spp.*) har visat sig minska efter behandling av knölar med natrimsilikat (100 mM) [404].

Kransmögel

Genom att gödsla fältet innan sättning med 600 L natriumgödning/ha har kransmögel (*Verticillium dahliae*) infektion av blast visat sig minska med ca 50 % vid nermyllning på 30 cm djup. Behandlingen har gett en skördeökning på ca 25 % på sandjord som uppvisat kraftig smitta av sjukdomen. I försöken gav nedmyllning på 30 cm djup högre skördeökning än vid 60 cm. Gödslingen gav dessutom flera knölar över 45 cm [405].

Gödslingsstrategi

Flytande

Det finns flera flytande Vinass-produkter som är rika på natrium, till exempel Bio-Vinass F (2,7 % Na), Vinass 4-0-4 (1-2 % Na) och BioRika (2,0–2,4 % Na). Alla tre produkterna är godkända att användas i ekologisk produktion [34].

Pellets

Biofer 6-3-12 (2,6 % Na) är ett natriumrikt specialgödselmedel i pelletsform, som har sitt ursprung i köttmjöl, kycklinggödsel och kaliumsulfat/ kali-vinass [34].

Synergi och antagoni

Kalium

Natrium (NaNO_3) verkar kunna hindra och lindra symptom på kaliumbrist i potatisodling, även om ett minimum av kalium alltid är nödvändigt för plantans tillväxt [384]. Kalium är en envärd katjon som binder hårdare till kolloiderna än natrium, vilket bidrar till att jorden behöver mättas med kalium innan natrium frigörs till vattnet och kan tas upp av plantan [249].

Kobolt (Co)

Kobolt är en katjon som i vissa fall bildar kelat med organiska ligander som består av mikrober (till exempel porfyriner) och kan förekomma i låga koncentrationer i markvätskan. De vanligaste formerna av koboltrika mineraler är smalit, kobaltin och linnaeit [323].

Ämnet förekommer som jon i form av Co_2^+ [406] och Co_3^+ [323] och är en essentiell komponent i flera enzymer och koenzymer [406].

Kobolt tas huvudsakligen upp från markvätskan genom passiv transport [21], men även aktiv transport sker genom korkcellerna [407]. De flesta växters blad innehåller under 0,2 ppm (DM) kobolt [408]. Ämnet är helt mobilt i växten och transporten sker huvudsakligen genom transpirationsflödet [323, 409].

Eftersom organiskt material mineraliseras runt pH >6,5 ökar även kobolts löslighet till markvätskan kraftigt vid pH högre än 7 [46].

Kobolt kan stimulera potatisens tillväxt och metabolism. Vid tillförsel av ämnet har man sett en ökad effektivitet i fotosyntesen men höjd skörd som följd [410]. Det finns även belägg för att kobolt liksom selen ökar toleransen för torkstress [411]. I övrigt är kunskapen begränsad gällande kobolts inverkan på skörd och kvalitet i potatis.

Selen (Se)

I jorden är de vanligaste jonformerna av Selen Se^{6+} alternativt Se^{4+} och koncentrationen ökar generellt med ökande lerhalt [323]. Selen räknas inte som ett essentiellt näringsämne för växter, till skillnad från djur och människor [323]. Eftersom ämnet är viktigt för oss människor finns det anledning att se seleninnehållet som en kvalitetsaspekt hos potatis. Enligt livsmedelsverket innehåller svensk potatis obetydliga mängder selenium (tabell 1), men internationella siffror visar att halterna kan vara betydliga (0,16 mg/kg färskvikt) [404]. I råprotein från potatis kan dessutom halterna vara ca 200 gånger högre [404].

Lösligheten av selen till markvätskan är beroende av pH halten i jorden. Det observerats att lösligheten ökar med stigande pH från pH 5,5 med en stark ökning av lösligheten över pH 7 [46]. I fält minskar tillgängligheten vid låga temperaturer och ökad nederbörd [323].

Gödsling med selen tycks både kunna höja och sänka skörden i potatis. Ämnet är toxiskt för många växter som inte har sitt ursprung i områden med hög koncentration av selen [20]. Det är därför inte så förvånande att gödslingsförsök med selen ibland minskat skörden [403]. Både bladgödsling och applicering till jorden hade en negativ effekt i detta försök. Det finns dock resultat som visar att selen kan ge betydande skördeeffekter då ämnet tycks motverka oxidativ stress och torkstress [412, 413]. Selen har även visat sig kunna gynna produktionen av kolhydrater och stärkelse [414] i blasten. I växthusförsök från Finland har skördeeffekter upp mot 10 % uppnåtts vid tillförsel av selen. I samma försök gav selengödsling ett minskat antal knölar [414]. Vid låga nivåer (upp till 0,01 mg/kg) verkar dessutom selen kunna motverka mörkfärgning.

I försök som gödslats med 5,6 kg selen (Na_2SeO_3)/ha har en 6,7 procentig ökning av det essentiella proteininnehållet uppmätts. En fortsatt ökning av selentillförseln gav ingen fortsatt ökning av proteinet [415]

Man har visat att selenupptaget ökar med stigande stallgödselgivor, vilket visar på möjligheten att tillföra selen via stallgödsel [416].

Referenslista

1. Marschner, H., *Mineral nutrition of higher plants. ed. 2.* 1995.
2. Carlsson, H., K. Larsson, and H. Linnér, *Växtnäringsstyrning i potatis.* 1996.
3. Albertsson, B. and J. Blomquist, *Riktlinjer för gödsling och kalkning 2010*, 2009, Jordbruksinformation.
4. Biärsjö, J., *Fosfor och Kaliumgödsling till potatis*, in *Potatisodlaren*1989. p. 4.
5. Mengel, K.K.E.A., *Principles of plant nutrition.* 4th ed1987, Bern: International Potash Institute. 687.
6. Allison, M., J. Fowler, and E. Allen, *Responses of potato (Solanum tuberosum) to potassium fertilizers.* The Journal of Agricultural Science, 2001. **136**(04): p. 407-426.
7. Albertsson, B., *Riktlinjer för gödsling och kalkning 2011*, 2011. p. 48.
8. Harris, P.M., *The potato crop. The scientific basis for improvement*1992: Chapman & Hall.
9. Kolbe, H. and S. Stephan-Beckmann, *Development, growth and chemical composition of the potato crop (Solanum tuberosum L.). I. leaf and stem.* Potato Research, 1997. **40**(1): p. 111-129.
10. Kolbe, H. and S. Stephan-beckmann, *Development, growth and chemical composition of the potato crop (solanum tuberosum L.). II. Tuber and whole plant.* Potato Research, 1997. **40**(2): p. 135-153.
11. Hopkins, B.G., et al., *Enhanced efficiency fertilizers for improved nutrient management: potato (Solanum tuberosum).* Online. Crop Management doi, 2008. **10**: p. 2008-0317.
12. Stalham, M.A., Allen, E. J., Rosenfeld, A. B. and Herry, F. X., *Effects of soil compaction in potato (Solanum tuberosum) crops.* Journal of Agricultural Science, 2007. **145**(4): p. 295-312.
13. Pierce, F.J. and C.G. Burpee, *Zone tillage effects on soil properties and yield and quality of potatoes (Solanum tuberosum L.).* Soil & Tillage Research, 1995. **35**(3): p. 135-146.
14. Westermann, D. and R. Rowe, *Potato: Health management.* Potato: Health management, 1993.
15. Statistics Sweden, S.C., *Jordbruksstatistisk årsbok 2008.* 2008.
16. Nilsson, I., *Fördelning av potatisens odlingsareal, muntligt*, 2011.
17. Ländell, G.a.F., O., *Skörd av spannmål, trindsäd, oljeväxter, potatis och slåttervall 2009*, in *Jordbruksstatistisk årsbok*, S.S. Lundgren, Editor 2010, Statistiska centralbyrån.
18. livsmedelsdatabas, L. *Livsmedelsdatabasen - potatis konkt med salt.* 2011 [cited 2011 03-07]; Available from: <http://www7.slv.se/Naringssok/Naringsamnen.aspx>.
19. Singh, J. and L. Kaur, *Advances in Potato Chemistry and Technology*2009: Academic Press.
20. Epstein, E. and A. Bloom, *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*2005: Sinauer Associates Sunderland, MA.
21. Pilon-Smiths, E.A.H., et al., *Physiological functions of beneficial elements.* Current opinion in plant biology, 2009. **12**(3): p. 267-274.
22. Magnusson, M., *Mikronäringsämnen och pH*, in *Ekologisk produktion av grönsaker*2003, Jordbruksverket: Umeå.
23. Taiz, L.a.Z., E., *Plant Physiology 4th edition.* 2006: p. 764.

24. Addiscott, T., *Potassium and the distribution of calcium and magnesium in potato plants*. J. Sci. Food Agric, 1974. **25**(1): p. 173-83.
25. Leigh, R.A.a.J., A. E., *Concentrations of potassium in the dry matter and tissue water of field-grown spring barley and their relationships to grain yield*. The Journal of Agricultural Science, 1983. **101**: p. pp 675-685
26. Trehan, S.P. and R.C. Sharma, *External phosphorus requirement of different potato(Solanum tuberosum) cultivars resulting from different internal requirements and uptake efficiencies*, 2003, Indian Council of Agricultural Research. p. 54-56.
27. Mills, H.A.a.J., B. J., *Plant Analysis Handbook II*. Vol. 2. 1996, Georgia: Micromacro publishing. 422.
28. Juhlin, P., *Analysbaserade gödslingsrekommendationer i fruktodling*, J. Fruktodlingsrådgivning, Editor 1998: Kristianstad
29. Eriksson, J., Nilsson, I., and Simonsson M, *Wiklanders marklära*, ed. Studentlitteratur2005, Lund: Studentlitteratur.
30. M., M., *Frilandsodlade grönsaker - Växtnäringsstudier*, in *Fakta Trädgård*1995.
31. Pédrot, M., et al., *Insights into colloid-mediated trace element release at the soil/water interface*. Journal of colloid and interface science, 2008. **325**(1): p. 187-197.
32. Svensson, H.I., *Växt- och jordanalys för växtnäringsstyrning*, in *Vattningsbehov och näringstillförsel*, I.f.m. SLU, avd. för lantbrukets hydroteknik, Editor 1989, Institutionen för markvetenskap, avd. för lantbrukets hydroteknik Kristianstad.
33. Öborn, I., et al., *Critical aspects of potassium management in agricultural systems*. Soil Use and Management, 2005. **21**(1): p. 102-112.
34. Ascard, J., *Gödselmedel för ekologisk odling 2011 - Specialgödselmedel och stallgödsel*, Jordbruksverket, Editor 2011, Jordbruksverket: Jönköping. p. 10.
35. Yara. *Yara-Mila Produkter*. 2010 2010 oktober [cited 2011 31 mars]; Available from: http://www.yara.se/fertilizer/products/agriculture/yara_mila/index.aspx.
36. Stenberg, M., *Ny kunskap om kväveomsättning i lerjord - Resultat från studie i integrerade, ekologiska och konventionella växtföljder*. Forskningsnytt, 2009(1).
37. Hopkins, B.G., Rosen, C.J., Shiffler, A.K. and Taysom, T.W., *Enhanced efficiency fertilizers for improved nutrient management: potato (Solanum tuberosum)*, 2008, Crop Management. <http://www.plantmanagementnetwork.org/cm>.
38. Båth, B., *Växtnäringsförsörjning och gödsling i ekologisk grönsaksodling*. Ekologisk odling av grönsaker på friland, 2008.
39. Allison, M.F., Allen, E. J. and Fowler, J. H., *The nutrition of the potato crop*. British potato council, 1999. **807**(182): p. 1-91.
40. Kirchmann, H.a.L., A., *Kväve från fast- och flytgödsel - mineralisering och fastläggning i marken Fakta - Mark/växter*, 1993(16).
41. Lambert, D.H., M.L. Powelson, and W.R. Stevenson, *Nutritional interactions influencing diseases of potato*, 2005, Springer. p. 309-319.
42. Eriksson J., N.I., Simonsson M., *Wiklanders Marklära*. Studentlitteratur2005, Lund: Studentlitteratur. 337.
43. Taiz L., Z.E., *Plant Physiology*. 2002: p. 690.
44. Hochman, Z., D. Edmeades, and E. White, *Changes in effective cation exchange capacity and exchangeable aluminum with soil pH in lime-amended field soils*. Australian Journal of Soil Research, 1992. **30**(2): p. 177-187.
45. Truog, E., *Soil reaction influence on availability of plant nutrients*. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1946. **11**: p. 305–308.
46. Tyler, G. and T. Olsson, *Concentrations of 60 elements in the soil solution as related to the soil acidity*. European Journal of Soil Science, 2001. **52**(1): p. 151-165.
47. Tyler, G.a.O., T., *Plant uptake of major and minor mineral elements as influenced by soil acidity and liming in Plant and Soil*2001. p. 307-321.

48. Malhi, S., M. Nyborg, and J. Harapiak, *Effects of long-term N fertilizer-induced acidification and liming on micronutrients in soil and in bromegrass hay*. Soil and Tillage Research, 1998. **48**(1-2): p. 91-101.
49. Lucas, R.E. and J.F. Davis, *Relationships between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients*, 1961. p. 177-182.
50. Magnusson, M., *Mineral Fertilizers and Green Mulch in Chinese Cabbage [Brassica pekinensis (Lour.) Rupr.]: Effect on Nutrient Uptake, Yield and Internal Tipburn*, 2002, Taylor & Francis. p. 25-35.
51. Magnusson, M., *Soil pH and nutrient uptake in Cauliflower (Brassica oleracea L. var. botrytis) and Broccoli (Brassica oleracea var. L. italica) in northern Sweden. Multielement Studies by means of Plant and soli analysis*, in *Departement of Agricultural Research for Northern Sweden 2000*, Swedish University of Agricultural Sciences: Umeå. p. 565.
52. Torstensson, G., G. Ekblad, and H. Limnér, *Kväveutnyttjande i potatis-och grönsaksodling 2007*: Jordbruksverket.
53. Mattsson, L., *Data om utsläpp till luft från större anläggningar är hämtade från årliga miljörapporter samt från lokala tillsynsmyndigheter eller anläggningarna direkt. Data för trafiksektorerna är framtagna av J&W i samband med MaTs-arbetet (Miljöanpassad Trafiksektor). Uppgifter om nedfall av försurande ämnen härrör från de sammanställningar som gjorts av IVL på uppdrag av länsstyrelsen, skogsvårdsstyrelsen och Boliden Mineral AB*.
54. Bingham, F.T., *Relation between phosphorous and micronutrients in plants*. Soil Sci Soc Amer Proc, 1963. **27**: p. 389-391.
55. Staley, J. and L. Betteridge, eds. *The Crop Nutrition Directory*. British Library Cataloguing in Publication Data, ed. J. Staley 2003, Context Products Ltd.
56. Firman, D., P. O'Brien, and E. Allen, *Appearance and growth of individual leaves in the canopies of several potato cultivars*. The Journal of Agricultural Science, 1995. **125**(03): p. 379-394.
57. Zebarth, B.a.R., C., *Research perspective on nitrogen bmp development for potato*. American Journal of Potato Research, 2007. **84**(1): p. 3-18.
58. MILLARD, P. and B. MARSHALL, *Growth, nitrogen uptake and partitioning within the potato (Solanum tuberosum L.) crop, in relation to nitrogen application*. Journal of Agricultural Science, 1986. **107**(2): p. 421-429.
59. De la Morena, I., A. Guillen, and L.F.G. del Moral, *Yield development in potatoes as influenced by cultivar and the timing and level of nitrogen fertilization*. American Journal of Potato Research, 1994. **71**(3): p. 165-173.
60. Bélanger, G., Walsh, J., Richards, J., Milburn, P. and Ziadi, N., *Nitrogen fertilization and irrigation affects tuber characteristics of two potato cultivars*. American Journal of Potato Research, 2002. **79**(4): p. 269-279.
61. Timlin, D., et al. *Regulation of active and passive nitrogen uptake in response to CO2 and nitrogen application rate*. 2006.
62. Firman, D., *Leaf growth and senescence of the potato* 1987: University of Cambridge.
63. Allison, M., E. Allen, and J. Fowler, *The nutrition of the potato crop*, in *British Potato Council Research Review* 1999, Cambridge University Farm.
64. Allen, E. and R. Scott, *An analysis of the potato crop*. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 1980. **94**: p. 583-606.
65. Kleinkopf, G., D. Westermann, and R. Dwelle, *Dry matter production and nitrogen utilization by six potato cultivars*. Agronomy Journal, 1981. **73**: p. 799-802.
66. Biemond, H. and J. Vos, *Effects of nitrogen on the development and growth of the potato plant. 2. The partitioning of dry matter, nitrogen and nitrate*. Annals of Botany, 1992. **70**(1): p. 37.

67. Ojala, J., J. Stark, and G. Kleinkopf, *Influence of irrigation and nitrogen management on potato yield and quality*. American Journal of Potato Research, 1990. **67**(1): p. 29-43.
68. Stark, J. and S. Love, *Potato production systems*. University of Idaho Agriculture Communications, Moscow, Idaho, pp, 2003. **426**.
69. Stark, J.C., D.T. Westermann, and B. Hopkins, *Nutrient management guidelines for Russet Burbank potatoes* 2004: University of Idaho, College of Agricultural and Life Sciences.
70. Westermann, D. and G. Kleinkopf, *Nitrogen requirements of potatoes*. Agronomy Journal, 1985. **77**: p. 616-621.
71. Waddell, J., et al., *Irrigation and nitrogen management effects on potato yield, tuber quality, and nitrogen uptake*. Agronomy Journal, 1999. **91**(6): p. 991-997.
72. Maynard, D. and O. Lorenz, *Controlled-release fertilizers for horticultural crops*. Hort. Rev, 1979. **1**: p. 79-140.
73. Lauer, D.A., *RUSSET BURBANK YIELD RESPONSE TO SPRINKLER-APPLIED NITROGEN-FERTILIZER*. American Potato Journal, 1986. **63**(2): p. 61-69.
74. Lauer, D.A., *RESPONSE OF NOOKSACK POTATOES TO NITROGEN-FERTILIZER*. American Potato Journal, 1986. **63**(5): p. 251-262.
75. Ojala, J., Stark, JC and Kleinkopf, GE, *Influence of irrigation and nitrogen management on potato yield and quality*. American Journal of Potato Research, 1990. **67**(1): p. 29-43.
76. Roberts, S. and H. Cheng. *Advances in nitrogen management for cv. Russet Burbank potatoes*. 1985.
77. Westermann, D.T., *Fertility management*, in *Potato health management*, R.C. Rowe, Editor 2003, APS Press, St Paul. p. 77-86.
78. Alva, L., *Potato nitrogen management*. Journal of Vegetable Crop Production, 2004. **10**(1): p. 97-132.
79. Kabat, P., et al., *Modelling and parameterization of the soil-plant-atmosphere system: a comparison of potato growth models* 1995: Wageningen Pers.
80. Vos, J., *The nitrogen response of potato (Solanum tuberosum L.) in the field: nitrogen uptake and yield, harvest index and nitrogen concentration*. Potato Research, 1997. **40**(2): p. 237-248.
81. Zebarth, B., et al., *Rate and timing of nitrogen fertilization of Russet Burbank potato: Yield and processing quality*. Canadian journal of plant science, 2004. **84**(3): p. 855-864.
82. Maidl, F.X., H. Brunner, and E. Sticksel, *Potato uptake and recovery of nitrogen 15N-enriched ammonium nitrate*. Geoderma, 2002. **105**(3-4): p. 167-177.
83. Zvomuya, F., C.J. Rosen, and J.C. Miller, *Response of Russet Norkotah clonal selections to nitrogen fertilization*. American Journal of Potato Research, 2002. **79**(4): p. 231-239.
84. Li, H., et al., *Efficiency of soil and fertilizer nitrogen of a sod-potato system in the humid, acid and cool environment*. Plant and Soil, 2003. **251**(1): p. 23-36.
85. Zebarth, B., Leclerc, Y., Moreau, G. and Botha, E., *Rate and timing of nitrogen fertilization of Russet Burbank potato: Yield and processing quality*. Canadian journal of plant science, 2004. **84**(3): p. 855-864.
86. Mukherje, S., De, R. and Saxena, P. N., *EFFICIENCY OF UTILIZATION OF SOIL- AND FOLIAR-APPLIED NITROGEN AND PHOSPHORUS AS REVEALED BY TUBER PRODUCTION AND NUTRIENT UPTAKE OF POTATOES*. Soil Science, 1966. **102**(4): p. 278-285.
87. Bélanger, G., et al., *Tuber growth and biomass partitioning of two potato cultivars grown under different n fertilization rates with and without irrigation*. American Journal of Potato Research, 2001. **78**(2): p. 109-117.

88. Maidl, F.X., Brunner, H. and Sticksel, E., *Potato uptake and recovery of nitrogen ¹⁵N-enriched ammonium nitrate*. Geoderma, 2002. **105**(3-4): p. 167-177.
89. Allison, M.F., J.H. Fowler, and E.J. Allen, *Effects of soil- and foliar-applied phosphorus fertilizers on the potato (Solanum tuberosum) crop*. Journal of Agricultural Science, 2001. **137**: p. 379-395.
90. Sarkar, D., B. Mandal, and M.C. Kundu, *Increasing use efficiency of boron fertilisers by rescheduling the time and methods of application for crops in India*, 2007, Springer. p. 77-85.
91. Jensen, C., B. Stougaard, and P. Olsen, *Simulation of water and nitrogen dynamics at three Danish locations by use of the DAISY model*. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Plant Soil Science, 1994. **44**(2): p. 75-83.
92. Gasser, M., et al., *Impact of potato-cereal rotations and slurry applications on nitrate leaching and nitrogen balance in sandy soils*. Canadian journal of soil science, 2002. **82**(4): p. 469-479.
93. Milburn, P., et al., *Nitrate leaching from systematically tiled potato fields in New Brunswick, Canada*. Journal of Environmental Quality, 1990. **19**(3): p. 448-454.
94. Vos, J. and P. Van Der Putten, *Nutrient cycling in a cropping system with potato, spring wheat, sugar beet, oats and nitrogen catch crops. I. Input and offtake of nitrogen, phosphorus and potassium*. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2000. **56**(2): p. 87-97.
95. Errebhi, M., et al., *Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management*. Agronomy Journal, 1998. **90**(1): p. 10-15.
96. Zvomuya, F.R., et al., *Nitrate leaching and nitrogen recovery following application of polyolefin-coated urea to potato*. Journal of Environmental Quality, 2003. **32**(2): p. 480.
97. Worthington, C., et al., *Potato (solanum tuberosum l.) yield and internal heat necrosis incidence under controlled-release and soluble nitrogen sources and leaching irrigation events*. American Journal of Potato Research, 2007. **84**(5): p. 403-413.
98. Gupta, U.C., et al., *Boron toxicity and deficiency: A review*, 1985. p. 381-409.
99. Harris, P.M., *Potato crop: the scientific basis for improvement*. Vol. Vol 2. 1992: Chapman & Hall. . 730 p. .
100. Feibert, E.B.G., C.C. Shock, and L.D. Saunders, *Nitrogen fertilizer requirements of potatoes using carefully scheduled sprinkler irrigation*. HortScience, 1998. **33**(2): p. 262-265.
101. LeMonte, J.L., et al., *Residual soil nitrate and potato yield with polymer coated urea*, 2009. p. 4-5.
102. Wang-Pruski, G., et al., *Effect of soil type and nutrient management on potato after-cooking darkening*. American Journal of Potato Research, 2007. **84**(4): p. 291-299.
103. Davis, J. and D. Everson, *Relation of Verticillium dahliae in soil and potato tissue, irrigation method, and N-fertility to Verticillium wilt of potato*. Phytopathology, 1986. **76**(7): p. 730-736.
104. O'Sullivan, J. and A.A. Reyes, *Effects of soil fumigation, rotation, and nitrogen on yield, petiole NO₃-N, and verticillium wilt of potatoes*. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1980. **105**(6): p. 809-812.
105. Kratzke, M.G. and J.P. Palta, *Calcium accumulation in potato tubers: role of the basal roots*, 1986, American Society for Horticultural Science. p. 1022-1024.
106. Stark, J.C. and G.A. Porter, *Potato nutrient management in sustainable cropping systems*, 2005, Springer. p. 329-338.
107. Finckh, M.R., E. Schulte-Geldermann, and C. Bruns, *Challenges to organic potato farming: disease and nutrient management*, 2006, Springer. p. 27-42.
108. MacKenzie, D., *Association of potato early blight, nitrogen fertilizer rate, and potato yield*. Plant Disease, 1981. **65**: p. 575-577.

109. Lambert, D., Powelson, ML and Stevenson, WR, *Nutritional interactions influencing diseases of potato*. American Journal of Potato Research, 2005. **82**(4): p. 309-319.
110. Herlihy, M., *Contrasting effects of nitrogen and phosphorus on potato tuber blight*. Plant Pathology, 1970. **19**(2): p. 65-68.
111. Bonde, R. and E.S. Schultz, *Control of Late-blight Tuber Rot*1949: Maine Agricultural Experiment Station.
112. Carnegie, S. and J. Colhoun, *Effects of plant nutrition on susceptibility of potato leaves to Phytophthora infestans*. Journal of Phytopathology, 1983. **108**(3 4): p. 242-250.
113. Djurle, O., ed. *Potatisen*. ed. L. Tidsskriftsaktiebolag1937.
114. Kennedy, J., C. Booth, and W. Kershaw, *Host finding by aphids in the field*. Annals of Applied Biology, 1961. **49**(1): p. 1-21.
115. Mattsson, L. and T. Lindén, *Kväveförsök i potatis med bestämning av mineralkväve i marken*1988: Sveriges lantbruksuniversitet.
116. Sharifi, M., et al., *Evaluation of laboratory-based measures of soil mineral nitrogen and potentially mineralizable nitrogen as predictors of field-based indices of soil nitrogen supply in potato production*. Plant and Soil, 2007. **301**(1): p. 203-214.
117. Sharifi, M.Z., et al., *Evaluation of some indices of potentially mineralizable nitrogen in soil*. Soil Science Society of America Journal, 2007. **71**(4): p. 1233.
118. Errebhi, M., C.J. Rosen, and D.E. Birong, *Calibration of a petiole sap nitrate test for irrigated 'Russet Burbank' potato*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1998. **29**(1): p. 23-35.
119. Westcott, M., C. Rosen, and W. Inskeep, *Direct measurement of petiole sap nitrate in potato to determine crop nitrogen status*. Journal of Plant Nutrition, 1993. **16**(3): p. 515-521.
120. Vitosh, M.L. and G.H. Silva, *Factors affecting potato petiole sap nitrate tests*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1996. **27**(5): p. 1137-1152.
121. Huett, D. and E. White, *Determination of critical nitrogen concentrations of potato (Solanum tuberosum L. cv. Sebago) grown in sand culture*. Australian Journal of Experimental Agriculture, 1992. **32**(6): p. 765-772.
122. Williams, C. and N. Maier, *Determination of the nitrogen status of irrigated potato crops. I. Critical nutrient ranges for nitrate-nitrogen in petioles*. Journal of Plant Nutrition, 1990. **13**(8): p. 971-984.
123. Gauch, H.G., *Inorganic plant nutrition*1972: Dowden, Hutchinson & Ross.
124. Hooker, W.J., *Compendium of potato diseases*. The American Phytopathological Society, St.Paul, MN, 1981: p. 125.
125. Goffart, J., M. Olivier, and M. Frankinet, *Potato crop nitrogen status assessment to improve N fertilization management and efficiency: Past–present–future*. Potato Research, 2008. **51**(3): p. 355-383.
126. Bélanger, G., et al., *Critical Nitrogen Curve and Nitrogen Nutrition Index for Potato in Eastern Canada*. American Journal of Potato Research, 2001. **78**(5): p. 355-364.
127. Gianquinto, G., Goffart, J., Olivier, M., Guarda, G., Colauzzi, M., Dalla Costa, L., Delle Vedove, G., Vos, J. and Mackerron, D., *The use of hand-held chlorophyll meters as a tool to assess the nitrogen status and to guide nitrogen fertilization of potato crop*. Potato Research, 2004. **47**(1): p. 35-80.
128. Kolbe, H., Zhang, Wei-Li, *Model calculations for the effects of nitrogen, phosphorus, and potassium nutrition on the behaviour of potato tubers in storage*. Potato Research, 1995. **38**(1): p. 87-96.
129. STALHAM, M.A., et al., *Effects of soil compaction in potato (Solanum tuberosum) crops*. The Journal of Agricultural Science, 2007. **145**: p. pp 295-312

130. Busato, C., et al., *SEASONAL VARIATION AND THRESHOLD VALUES FOR CHLOROPHYLL METER READINGS ON LEAVES OF POTATO CULTIVARS*. Journal of Plant Nutrition, 2010. **33**(14): p. 2148-2156.
131. Zebarth, B. and C. Rosen, *Research perspective on nitrogen bmp development for potato*. American Journal of Potato Research, 2007. **84**(1): p. 3-18.
132. Chambenoit, C., et al., *Development of a decision support system for nitrogen management on potatoes*. Decision support systems in potato production: bringing models to practice, 2004: p. 55-67.
133. Jamieson, P., et al., *Implementation and testing of the Potato Calculator, a decision support system for nitrogen and irrigation management*. Decision support systems in potato production: bringing models to practice, 2004: p. 85-99.
134. Goffart, J., et al., *Management of N fertilization of the potato crop using total N-advice software and in-season chlorophyll-meter measurements*. Decision support systems in potato production: bringing models to practice, 2004: p. 69-83.
135. Zebarth, B., et al., *Nitrogen Use Efficiency Characteristics of Andigena and Diploid Potato Selections*. American Journal of Potato Research, 2008. **85**(3): p. 210-218.
136. Love, S., Stark, J. and Salaiz, T., *Response of four potato cultivars to rate and timing of nitrogen fertilizer*. American Journal of Potato Research, 2005. **82**(1): p. 21-30.
137. Christiansen, M.N. and C.D. Foy, *Fate and function of calcium in tissue*, 1979, Taylor & Francis. p. 427-442.
138. Chucka, J.A. and *Magnesium deficiency in Aroostook potato soils*. American Journal of Potato Research, 1934. **11**(2): p. 29-35.
139. Roberts, S. and J.K. Rhee, *Boron utilization by potato in nutrient cultures and in field plantings*, 1990, Taylor & Francis. p. 921-932.
140. Nitsch, A. and E. Varis, *Nitrate estimates using the Nitrachek test for precise N-fertilization during plant growth and, after harvest, for quality testing potato tubers*. Potato Research, 1991. **34**(1): p. 95-105.
141. Carlsson, H. and H. Linnér, *Potatisens reaktion för olika spridningssätt av växtnäring vid olika fuktighetsnivåer*. Rapport / Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för växtodling, 0348-1034 ; 1281984.
142. Khonje, D., E. Varsa, and B. Klubek, *The acidulation effects of nitrogenous fertilizers on selected chemical and microbiological properties of soil*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1989. **20**(13): p. 1377-1395.
143. Alloway, B.J., *Zinc in soils and crop nutrition*, 2004.
144. Trehan, S.P. and R.C. Sharma, *Root–Shoot Ratio as Indicator of Zinc Uptake Efficiency of Different Potato Cultivars*, 2003, Taylor & Francis. p. 919-932.
145. Haase, T. and C. Schuler, *The effect of different N and K sources on tuber nutrient uptake, total and graded yield of potatoes (Solanum tuberosum L.) for processing*. European journal of agronomy, 2007. **26**(3): p. 187-197.
146. Curless, M.A., K.A. Kelling, and P.E. Speth, *Nitrogen and phosphorus availability from liquid dairy manure to potatoes*. American Journal of Potato Research, 2005. **82**(4): p. 287-297.
147. Carlsson, H., *Gödselplacering i potatis*1988: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för växtodling.
148. Winkler, E. and S. Ohlsson, *Försök med lokaliserad gödsling till potatis*. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen, 1958. **30**.
149. Timm, H., et al., *Plant nutrient uptake and potato yield response to banded and broadcast nitrogen*. American Journal of Potato Research, 1983. **60**(8): p. 577-585.
150. Petite, J.M., and Ormrod, D. P., *Effects of sulphur dioxide and nitrogen dioxide on shoot and root growth of Kennebec and Russet Burbank potato plants*. . American potato journal, 1988. **65**(9): p. 517-527.

151. Bilsky, J.J., Nelson, D.C. and Conlon, R.L. , *Response of six wild potato species to chloride and sulphate salinity*. American potato journal, 1988. **65**(10): p. 605-612.
152. Hahlin, M. and E. Svensson, *Radmyllning av NPK till fabrikspotatis: resultat från försöksserie FK-12901992*: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avd. för växtnäringslära.
153. MacLean, A., *Time of application of fertilizer nitrogen for potatoes in Atlantic Canada*. American Journal of Potato Research, 1984. **61**(1): p. 23-29.
154. James, D., Hurst, R., Westermann, D. and Tindall, T., *Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: Evaluating nutrient element interactions in petioles with response surfaces*. American Journal of Potato Research, 1994. **71**(4): p. 249-265.
155. Bertilsson, G., H. Rosenqvist, and L. Mattsson, *Fosforgödsling och odlingsekonomi med perspektiv på miljömål*. Naturvårdsverket, Rapport, 2005. **5518**: p. 60.
156. Rengel, Z. and P. Marschner, *Nutrient availability and management in the rhizosphere: exploiting genotypic differences*. New Phytologist, 2005. **168**(2): p. 305-312.
157. Bennett, W.F., *Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants*1993: American Phytopathological Society
158. Hahlin, M. and J. Ericsson, *Fosfor och fosforgödsling*. Aktuellt från lantbruksuniversitetet, 1981. **294**.
159. Jenkins, P.D. and H. Ali, *Phosphate supply and progeny tuber numbers in potato crops*. Annals of Applied Biology, 2000. **136**(1): p. 41-46.
160. Trehan, S. and R. Sharma, *External phosphorus requirement of different potato (Solanum tuberosum) cultivars resulting from different internal requirements and uptake efficiencies*. Indian Journal of Agricultural Science, 2003. **73**(1): p. 54-56.
161. Balemi, T. and M. Schenk, *Genotypic variation of potato for phosphorus efficiency and quantification of phosphorus uptake with respect to root characteristics*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2009. **172**(5): p. 669-677.
162. CASSMAN, K. and W. BENNETT, *Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants*1993: APS Press.
163. Simpson, K., *Effects of soil-moisture tension and fertilisers on the yield, growth and phosphorus uptake of potatoes*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1962. **13**(4): p. 236-248.
164. Jenkins, P. and H. ALI, *Growth of potato cultivars in response to application of phosphate fertiliser*. Annals of Applied Biology, 1999. **135**(1): p. 431-438.
165. Grewal, J.S., S.P. Trehan, and R.C. Sharma, *Phosphorus and potassium nutrition of potato*. Advances in Horticulture, 1993. **7**: p. 262-97.
166. Dyson, P. and D. Watson, *An analysis of the effects of nutrient supply on the growth of potato crops*. Annals of Applied Biology, 1971. **69**(1): p. 47-63.
167. Allison, M.F., J.H. Fowler, and E.J. Allen, *Effects of soil- and foliar-applied phosphorus fertilizers on the potato (Solanum tuberosum L.) crop*. Journal of Agricultural Science, 2001. **137**: p. 379-395.
168. Dampney, P., et al., *Review of the response of potatoes to phosphate*. DEFRA project PE0108 2002: p. 52.
169. Vera-Núñez, J., et al., *Absorción y eficiencia de uso de fósforo en papa cultivar alpha con 32P*. Agrociencia, 2005. **39**(2): p. 127.
170. Baerug, R. and K. Steenberg, *Influence of placement method and water supply on the uptake of phosphorus by early potatoes*. Potato Research, 1971. **14**(4): p. 282-291.
171. Ekelöf, J., Lundell, J., Asp, H. . *Phosphorus uptake as affected by multiple fertilizer applications in potato (Solanum tuberosum L.)*. in *ISHS Towards Ecologically Sound Fertilization Strategies for Field Vegetable Produktion*. 2009. Malmö: Acta Horticulturae.

172. Ekelöf, J., *Precisionsstyrd fosforgödsling till potatis*, in *LTJ-fakultetens faktablad2008*, Fakta från Partnerskap Alnarp.
173. Hahlin, M., *Fosforgödsling till potatis och efterföljande grödor*, in *SPoR Potatisodlaren1992*: Institutionen för markvetenskap i Uppsala. p. 2.
174. Ekre, E., *Platsspecifik kväve- och fosforgödsling till potatis*, in *Stiftelsen Svensk Växtnäringsforskning2008*.
175. Johnston, A., et al., *Effects of soil and fertilizer P on yields of potatoes, sugar beet, barley and winter wheat on a sandy clay loam soil at Saxmundham, Suffolk*. The Journal of Agricultural Science, 1986. **106**(01): p. 155-167.
176. Rosen, C.J. and P.M. Bierman, *Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization*. American Journal of Potato Research, 2008. **85**(2): p. 110-120.
177. Johnston, A., G. Mattingly, and P. Poulton, *Effect of phosphate residues on soil P values and crop yields. I. Experiments on barley, potatoes and sugar beet on sandy loam soils at Woburn*. Rothamsted Experimental Station, Report for 1975, 1976: p. 5–36.
178. Hopkins, B., et al., *Phosphorus fertilizer timing for Russet Burbank potato grown in calcareous soil*. Journal of Plant Nutrition, 2010. **33**(4): p. 529-540.
179. Ekelöf, J., *Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization*, in *Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agriculture Sciences 2007*, University of Agricultural Sciences: Alnarp. p. 38.
180. O'Brien, P.J., E.J. Allen, and D.M. Firman, *REVIEW A review of some studies into tuber initiation in potato (Solanum tuberosum) crops*. The Journal of Agricultural Science, 1998. **130**(03): p. 251-270.
181. Lang, N., *Potato nutrient management for central Washington1999*: Washington State Cooperative Extension.
182. Sanderson, J., et al. *Phosphorus research on potato in PEI*. 2002. ISHS.
183. Bodin, B., *Utvecklingsförlopp och kvalitetstablering hos potatis*. Rapport / Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för växtodling, 0348-1034 ; 1251983, Uppsala.
184. Kolbe, H. and W. Zhang, *Model calculations for the effects of nitrogen, phosphorus, and potassium nutrition on the behaviour of potato tubers in storage*. Potato Research, 1995. **38**(1): p. 87-96.
185. Artschwager, E., *Studies on the potato tuber*. J. agric. Res, 1924. **27**: p. 809-35.
186. Otabbong, E., et al., *Compatibility of the ammonium lactate (AL) and sodium bicarbonate (Olsen) methods for determining available phosphorus in Swedish soils*. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Plant Soil Science, 2009. **59**(4): p. 373-378.
187. Neyroud, J. and P. Lischer, *Do different methods used to estimate soil phosphorus availability across Europe give comparable results?* Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2003. **166**(4): p. 422-431.
188. Mattsson, L., et al., *Utvidgad tolkning av P-AL för mark-och skördeanpassad fosforgödsling*. 2001.
189. Maier, N., et al., *Effect of phosphorus fertiliser on the yield of potato tubers (Solanum tuberosum L.) and the prediction of tuber yield response by soil analysis*. Australian Journal of Experimental Agriculture. **29**(3): p. 419-431.
190. Westermann, D. and G. Kleinkopf, *Phosphorus relationships in potato plants*. Agronomy Journal, 1985. **77**: p. 490-494.
191. Tukaki, J.L. and R.L. Mahler, *Evaluation of nutrient solution phosphorus concentration on potato plantlet tuber production under greenhouse conditions*. Journal of Plant Nutrition, 1990. **13**(1): p. 149-168.
192. Walworth, J. and J. Muniz, *A compendium of tissue nutrient concentrations for field-grown potatoes*. American Journal of Potato Research, 1993. **70**(8): p. 579-597.

193. Rocha, F., et al., *Critical phosphorus concentrations in potato plant parts at two growth stages*. Journal of Plant Nutrition, 1997. **20**(4): p. 573-579.
194. Maier, N., A. Dahlenburg, and C. Williams, *Effect of nitrogen, phosphorus, and potassium on yield and petiolar nutrient concentration of potato (Solanum tuberosum L.) cvv. Kennebec and Atlantic*. Australian Journal of Experimental Agriculture, 1994. **34**(6): p. 825-834.
195. Albertsson, B., *Riktlinjer för gödsling och kalkning 2007*. Jordbruksverket, Rapport, 2006.
196. Bergström, L., et al., *Phosphorus from Farmland to Water*. Report Food 2007. **4**: p. 63.
197. Hart, M.R., B.F. Quin, and M.L. Nguyen, *Phosphorus Runoff from Agricultural Land and Direct Fertilizer Effects: A Review*. J. Environ. Qual. , 2004. **33**: p. 1954-1972.
198. Trehan, S.P., Sharma, R. C., *Differences in phosphorus use efficiency in potato genotypes*. Advances in Horticulture, 2005. **19**(1): p. 13-20.
199. George, T., et al., *Phosphorus Efficient Potatoes*. Governing Board, 2008.
200. Blair, G., *Nutrient efficiency-what do we really mean*. Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition, 1993: p. 205-213.
201. Hegney, M.A. and I.R. McPharlin, *Broadcasting phosphate fertilisers produces higher yields of potatoes (Solanum tuberosum L.) than band-placement on coastal sands*. Australian Journal of Experimental Agriculture, 1999. **39**: p. 495-504.
202. Sutton, C., *Effect of low soil temperature on phosphate nutrition of plants—A review*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1969. **20**(1): p. 1-3.
203. Sharma, R., et al., *Phosphorus economy in potato cultivation by soaking mother seed tubers in a solution of urea and phosphate*. The Journal of Agricultural Science, 1984. **102**(02): p. 307-314.
204. SINGH, H., N. NARDA, and J. CHAWLA, *Efficacy of phosphorus through trickle fertigation of potato (Solanum tuberosum)*. Indian Journal of Agricultural Science, 2004. **74**(9): p. 476-478.
205. Satisha, G.C., *Fertigation-new concept in Indian agriculture*. Kisan world, 1997. **24**: p. 29-30.
206. Poder, D., *Effects of auxin and calcium on phosphate partitioning in induced potato (Solanum tuberosum L.) cuttings*. Potato Research, 1990. **33**(4): p. 465-468.
207. Fageria, N., et al., *Foliar fertilization of crop plants*. Journal of Plant Nutrition, 2009. **32**(6): p. 1044-1064.
208. Kilpatrick, J.B., *Effects of foliar applications of mono-ammonium phosphate on potatoes grown at three levels of seedbed phosphate*. Tests of Agrochemicals and Cultivars, 1993. **0**(14): p. 106-107.
209. Andersson, M., *Tilläggs gödsling med fosfor och mikronäring i potatis*, in *Mellansvenska försökssamarbetet 2002*: Skara. p. 91-92.
210. Berndtsson, M., *Flytande fosfor till potatis*, in *Instutionen för växtodlingslära 1991*, Sveriges lantbruksuniversitet p. 20.
211. Ljungars, A., *Bladgödsling med fosfor i potatis*. Fabrikspotatiskommitten, 1997: p. 16-19.
212. Dawson, K.P. *Foliar phosphate as a tool for manipulation of seed potato crops in Scotland*. in *AAB conference Novel Aspects of Crop Production*. 1973.
213. Erich, M., C. Fitzgerald, and G. Porter, *The effect of organic amendments on phosphorus chemistry in a potato cropping system* 1*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002. **88**(1): p. 79-88.
214. Hopkins, B. and J. Ellsworth. *Phosphorus availability with alkaline/calcareous soil*. 2005.

215. Syers, J., et al., *Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use: reconciling changing concepts of soil phosphorus behaviour with agronomic information* 2008: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
216. Dibb, D., P. Fixen, and L. Murphy, *Balanced fertilization with particular reference to phosphates: interaction of phosphorus with other inputs and management practices*. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1990. **26**(1): p. 29-52.
217. Båth, B., *Makronäringsämnen*, in *Ekologisk produktion av grönsaker* 2003, Jordbruksverket: Jönköping.
218. Brady, N.C.a.W., R. R., *The nature and properties of soils*. 12th ed. ed 1999.
219. SGU. *Markgeokemi*. 2011 [cited 2011 01.01.2011]; Available from: <http://www.sgu.se/sgu/sv/geologi/geokemi/Markgeokemi.html>.
220. Marschner, H., *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd ed. ed 1995, San Diego CA: Academic Press.
221. Rhue R.D., H.D.R., Kidder G., *Effect of K fertilization on yield and leaf concentrations of potatoes grown on a sandy soil*. American Potato Journal, 1986. **63**(12).
222. Stoltz, E.a.W., A. C., *Projekt avseende undersökning av korrelationen mellan borhalt i rödklöverplanta, jord och fröproduktion*, 2009, Hushållningssällskapet: Örebro.
223. Perrenoud, S., *Potassium and plant health*. IPI Research Topics, 1990. **2**(3).
224. Brautlecht, C.A. and A.S. Getchell, *The chemical composition of white potatoes*, 1951, Springer. p. 531-550.
225. Karam, F., et al., *Influence of genotypes and potassium application rates on yield and potassium use efficiency of potato*. Journal of Agronomy (Pakistan), 2009.
226. Trehan, S., H.E. Dessougi, and N. Claassen, *Potassium efficiency of 10 potato cultivars as related to their capability to use nonexchangeable soil potassium by chemical mobilization*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2005. **36**(13): p. 1809-1822.
227. Barraclough, P., *The growth and activity of winter wheat roots in the field: nutrient inflows of high-yielding crops*. The Journal of Agricultural Science, 1986. **106**(01): p. 43-59.
228. AbdelGadir, A., et al., *The effect of different levels of additional potassium on yield and industrial qualities of potato (Solanum tuberosum L.) in an irrigated arid region*. American Journal of Potato Research, 2003. **80**(3): p. 219-222.
229. Singh, K. and S. Bansal, *Growth, yield, and economics of potato in relation to progressive application of potassium fertilizer*. Journal of Plant Nutrition, 2005. **28**(1): p. 183-200.
230. Chapman, K., et al., *Potassium nutrition of Kennebec and Russet Burbank potatoes in Tasmania: effect of soil and fertiliser potassium on yield, petiole and tuber potassium concentrations, and tuber quality*. Australian journal of experimental agriculture, 1992. **32**(4): p. 521-527.
231. Imas, P., et al. *Potassium and integrated nutrient management in potato*. 2002. Indian Potato Association.
232. Panique, E., et al., *Potassium rate and source effects on potato yield, quality, and disease interaction*. American Journal of Potato Research, 1997. **74**(6): p. 379-398.
233. Singh, K., S. Bansal, and N. Pasricha, *Influence of graded levels of potassium fertilizer on growth, yield, and economic parameters of potato*. Journal of Plant Nutrition, 2005. **27**(2): p. 239-259.
234. Westermann, D., et al., *Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: Sugars and starch*. American Journal of Potato Research, 1994. **71**(7): p. 433-453.
235. Xu, G., et al., *Advances in chloride nutrition of plants*. Advances in Agronomy, 1999. **68**: p. 97-110.

236. Wright, K. and K. Oparka, *Hexose accumulation and turgor-sensitive starch synthesis in discs derived from source versus sink potato tubers*. Journal of experimental botany, 1990. **41**(11): p. 1355.
237. Stanley, R. and S. Jewell, *The influence of source and rate of potassium fertilizer on the quality of potatoes for french fry production*. Potato Research, 1989. **32**(4): p. 439-446.
238. Mousavi, S.R., M. Galavi, and G. Ahmadvand, *Effect of Zinc and manganese foliar application on yield, quality and enrichment on potato (Solanum tuberosum L.)*. Asian J. Plant Sci, 2007. **6**: p. 1256-1260.
239. Westermann, D., Tindall, T., James, D. and Hurst, R., *Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: Yield and specific gravity*. American Journal of Potato Research, 1994. **71**(7): p. 417-431.
240. Andersson, J., *Varierad kaliumgödsling i potatis - en fältstudie i Hedemora*, in *Examensarbete 2007*, Institutionen för Markvetenskap, avdelning växtnäringslära: Uppsala. p. 47.
241. Vertregt, N., *After-cooking discolouration of potatoes*. Potato Research, 1968. **11**(4): p. 226-234.
242. Fredriksson, L.a.H., E, *Svenska åkermarksprofiler*, in *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 1995. p. 116.
243. McNabney, M., et al., *The effect of potassium deficiency on chemical, biochemical and physical factors commonly associated with blackspot development in potato tubers*. American Journal of Potato Research, 1999. **76**(2): p. 53-60.
244. Askegaard, M. and J. Eriksen, *Potassium retention and leaching in an organic crop rotation on loamy sand as affected by contrasting potassium budgets*. Soil Use and Management, 2000. **16**(3): p. 200-205.
245. Allison, M.F., Chapman, J. L., Garat, C. E. and Todd, A.D., *The potassium, sodium, magnesium, calcium and phosphate nutrition of sugarbeet (Beta vulgaris) grown on soils containing incorporated straw*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1997. **74**(2): p. 216-220.
246. Simmons, K. and K. Kelling, *Potato responses to calcium application on several soil types*. American Journal of Potato Research, 1987. **64**(3): p. 119-136.
247. Laughlin, W., *Effect of soil applications of potassium, magnesium sulfate and magnesium sulfate spray on potato yield, composition and nutrient uptake*. American Journal of Potato Research, 1966. **43**(11): p. 403-411.
248. Addiscott, T.M., *Potassium and the distribution of calcium and magnesium in potato plants*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1974. **25**(9): p. 1173-1183.
249. Jakobsen, S.T., *Interaction between Plant Nutrients: III. Antagonism between Potassium, Magnesium and Calcium*, 1993, Taylor & Francis. p. 1-5.
250. Bolle-Jones, E., *The interrelationships of iron and potassium in the potato plant*. Plant and Soil, 1955. **6**(2): p. 129-173.
251. Roux, S.J. and R.D. Slocum, *Role of calcium in mediating cellular functions important for growth and development in higher plants*, 1982. p. 409-453.
252. Palta, J.P., *Role of Calcium in Plant Responses to Stresses: Linking Basic Research to the Solution of Practical Problems*. HortScience, 1996. **31**: p. 51-57.
253. Tawfik, A., Kleinhenz, M. and Palta, J., *Application of calcium and nitrogen for mitigating heat stress effects on potatoes*. American Journal of Potato Research, 1996. **73**(6): p. 261-273.
254. Habib, A. and D. Donnelly, *Calcium translocation and accumulation into potato tubers*. Potato Research, 2002. **45**(1): p. 17-24.
255. Palta, O.S.a., *Supplemental calcium application influences potato tuber number and size*. J HortScience, 2004. **40**: p. 102-105.

256. Busse, J.S.a.P., J. P., *Investigating the in vivo calcium transport path to developing potato tuber using ⁴⁵Ca: a new concept in potato tuber calcium nutrition*. *Physiologia Plantarum*, 2006. **128**: p. 313-323.
257. Kratzke, M. and J. Palta, *Evidence for the existence of functional roots on potato tubers and stolons: Significance in water transport to the tuber*. *American Journal of Potato Research*, 1985. **62**(5): p. 227-236.
258. White, P.J.a.B., M. R., *Calcium in Plants*. *Ann Bot*, 2003. **92**: p. 487-511.
259. CLARKSON, D.T., *Calcium transport between tissues and its distribution in the plant*. *Plant, Cell & Environment*, 1984. **7**(6): p. 449-456.
260. Simmons, K.E., et al., *Effect of calcium source and application method on potato yield and cation composition*, 1988, *Am Soc Agronom*. p. 13.
261. Scaife, M. and D. Clarkson, *Calcium-related disorders in plants—a possible explanation for the effect of weather*. *Plant and Soil*, 1978. **50**(1): p. 723-725.
262. Shear, C., *Calcium-related disorders of fruits and vegetables*. *HortScience*, 1975. **10**(4): p. 361-365.
263. Bangerth, F., *Calcium-related physiological disorders of plants*. *Annual Review of Phytopathology*, 1979. **17**(1): p. 97-122.
264. Palta, J.P., *Improving Potato Tuber Quality and Production by Targeted Calcium Nutrition: the Discovery of Tuber Roots Leading to a New Concept in Potato Nutrition*. *Potato Research*, 2010: p. 1-9.
265. Hanger, B.C., *The movement of calcium in plants*, 1979, Taylor & Francis. p. 171-193.
266. DeKock, P., et al., *Metabolic changes associated with calcium deficiency in potato sprouts*. *Potato Research*, 1975. **18**(4): p. 573-581.
267. Ozgen, S., Karlsson, B. and Palta, J., *Response of potatoes (cv russet burbank) to supplemental calcium applications under field conditions: Tuber calcium, yield, and incidence of internal brown spot*. *American Journal of Potato Research*, 2006. **83**: p. 195-204.
268. Logascio S.J., B.J.A.W.D.P., *Calcium and potassium fertilization of potatoes grown in north Florida, I. Effects on potato yield and tissue Ca and K concentrations*. *American Potato Journal* 1992. **69**(2): p. 95-104.
269. SMAK, *Potatisens skador och sjukdomar*. 2006.
270. Rich, A.E., *Potato diseases* 1983: Academic Press.
271. Tzeng K.Z., K.A., Simmons K.E., Kelling K.A., *Relationship of calcium nutrition to internal brown spot of potato tubers and sub-apical necrosis of sprouts*. *American Potato Journal*, 1986. **63**(2).
272. Collier, G., D. Wurr, and V.C. Huntington, *The susceptibility of potato varieties to internal rust spot*. *The Journal of Agricultural Science*, 1980. **94**(02): p. 407-410.
273. Olsen, N., L. Hiller, and L. Mikitzel, *The dependence of internal brown spot development upon calcium fertility in potato tubers*. *Potato Research*, 1996. **39**(1): p. 165-178.
274. Collier, G., D. Wurr, and V.C. Huntington, *The effect of calcium nutrition on the incidence of internal rust spot in the potato*. *The Journal of Agricultural Science*, 1978. **91**(01): p. 241-243.
275. Tzeng, K., et al., *Relationship of calcium nutrition to internal brown spot of potato tubers and sub-apical necrosis of sprouts*. *American Journal of Potato Research*, 1986. **63**(2): p. 87-97.
276. Karlsson, B.a.P., J., *Enhancing tuber calcium by in-season calcium application can reduce tuber bruising during mechanical harvest*. *ISHS Acta Horticulturae*, 2003. **619**: p. 285-291.
277. McGuire, R. and A. Kelman, *Reduced severity of Erwinia soft rot in potato tubers with increased calcium content*. *Phytopathology*, 1984. **74**(10): p. 1250-1256.

278. Cother, E. and B. Cullis, *The influence of tuber position on periderm calcium content and its relationship to soft rot susceptibility*. Potato Research, 1992. **35**(3): p. 271-277.
279. Locascio, S., J. Bartz, and D. Weingartner, *Calcium and potassium fertilization of potatoes grown in North Florida I. Effects on potato yield and tissue Ca and K concentrations*. American Journal of Potato Research, 1992. **69**(2): p. 95-104.
280. Mattsson, L., *Soil calcium - magnesium balance and skin quality*. Rapport, 2008. **217**: p. 1-24.
281. LERICHE, E., G. WANG-PRUSKI, and V. ZHELJAZKOV, *Distribution of Elements in Potato (Solanum tuberosum L.) Tubers and Their Relationship to After-cooking Darkening*. HortScience, 2009. **44**(7): p. 1866-1873.
282. Karlsson, B.H., Palta, J. P. and Crump, P. M. , *Enhancing Tuber Calcium Concentration May Reduce Incidence of Blackspot Bruise Injury in Potatoes*. HortScience, 2006. **41**: p. 1213-1221.
283. Gunter, C.a.P., J., *Exchangeable Soil Calcium May Not Reliably Predict In-season Calcium Requirements for Enhancing Potato Tuber Calcium Concentration*. American Journal of Potato Research, 2008. **85**: p. 324-331.
284. Kleinhenz, M., Palta, J., Gunter, C. and Kelling, K., *Impact of source and timing of calcium and nitrogen applications on Atlantic potato tuber calcium concentrations and internal quality*. Journal-American society for Horticultural science, 1999. **124**: p. 498-506.
285. Harrison, H., E. Bergman, and R. Cole, *Growth responses, cooking quality determinations, and leaf nutrient concentrations of potatoes as related to exchangeable calcium, magnesium, and potassium in the soil*. American Journal of Potato Research, 1982. **59**(3): p. 113-124.
286. Kurvits, A. and E. Kirkby, *The uptake of nutrients by sunflower plants (Helianthus annuum) growing in a continuous flowing culture system, supplied with nitrate or ammonium as nitrogen source*. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 1980. **143**(2): p. 140-149.
287. Pavlista, A.D., *Sulfur and Marketable Yield of Potato*, 2008, Asa-cssa-sssa. p. 171.
288. Eriksen, J., *Soil sulfur cycling in temperate agricultural systems*. Advances in Agronomy, 2009. **102**: p. 55-89.
289. Thomasson, R.a.L., B., *Svavel*, in *Nationalencyklopedin*.
290. Ryant, P., et al., *Electrochemical determination of low molecular mass thiols content in potatoes (Solanum tuberosum) cultivated in the presence of various sulphur forms and infected by late blight (Phytophthora infestans)*. Sensors, 2008. **8**(5): p. 3165-3182.
291. Pavlista, A.D. and J. Jez, *Sulfur and marketable yield of potato*. Sulfur: A Missing Link Between Soils, Crops, and Nutrition, 2008: p. 171.
292. Klikocka, H., Haneklaus, S., Bloem, E., and Schnug, E., *Influence of sulfur fertilization on infection of potato tubers with Rhizoctonia solani and Streptomyces scabis*. Journal of Plant Nutrition, 2005(28): p. 819-833.
293. Sharma, D.K., et al., *Effect of sulphur on yield and quality of potato (Solanum tuberosum L.)*. International Journal of Agricultural Research, 2011. **6**(2): p. 143-148.
294. Pavlista, A.D., *Early-season applications of sulfur fertilizers increase potato yield and reduce tuber defects*. Agronomy Journal, 2005. **97**(2): p. 599-603.
295. Eppendorfer, W.H. and B.O. Eggum, *Sulphur deficiency of potatoes as reflected in chemical composition and in some measures of nutritive value*. Norwegian Journal of Agricultural Sciences Supplement, 1994. **0**(15): p. 127-134.
296. Lapwood, D., L. Wellings, and W. Rosser, *The control of common scab of potatoes by irrigation*. Annals of Applied Biology, 1970. **66**(3): p. 397-405.
297. Mishra, K. and I. Srivastava, *Soil amendments to control common scab of potato*. Potato Research, 2004. **47**(1): p. 101-109.

298. Soltani, N., Conn, K. L., Abbasi, P.A., and Lazarovits G. , *Reduction of potato scab and verticillium wilt with ammonium lignosulfonate soil amendment in four Ontario potato fields*. Canadian Journal of Plant Pathology, 2002. **24**: p. 332-339.
299. Muncie, J., et al., *The effect of sulphur and acid fertilizer on incidence of potato scab*. American Journal of Potato Research, 1944. **21**(11): p. 293-304.
300. Aulakh, M., B. Singh, and B. Arora, *Effect of sulphur fertilization on the yield and quality of potatoes (Solanum tuberosum L.)*. J. Indian Soc. Soil Sci, 1977. **25**(2): p. 182-85.
301. Brown, B., *Potato soil fertility and fertilizer literature for 1934*. American Journal of Potato Research, 1935. **12**(9): p. 254-257.
302. Walworth J.L. , M.E., *A compendium of tissue nutrient concentrations for field-grown potatoes*. American Potato Journal, 1993. **70**: p. 579-597.
303. Mondy, N.I., B. Gosselin, and R. Ponnampalam, *EFFECT OF SOIL APPLICATIONS OF MAGNESIUM-SULFATE AND DOLOMITE ON THE QUALITY OF POTATO-TUBERS*. American Potato Journal, 1987. **64**(1): p. 27-34.
304. Larkin, R. and T. Griffin, *Control of soilborne potato diseases using Brassica green manures*. Crop protection, 2007. **26**(7): p. 1067-1077.
305. Gimsing, A.L. and J.A. Kirkegaard, *Glucosinolates and biofumigation: fate of glucosinolates and their hydrolysis products in soil*. Phytochemistry Reviews, 2009. **8**(1): p. 299-310.
306. Sarwar, M., et al., *Biofumigation potential of brassicas*. Plant and Soil, 1998. **201**(1): p. 103-112.
307. Olivier, C., et al., *Variation in allyl isothiocyanate production within Brassica species and correlation with fungicidal activity*. Journal of Chemical Ecology, 1999. **25**(12): p. 2687-2701.
308. Lundin, L. *Magnesium*. Markinfo [Web] 2007 2007-02-10 [cited 2011 10-01]; Available from: <http://www-markinfo.slu.se/sve/kem/totkem/mg.html>.
309. Mondy N.I., G.B.P.R., *Effects of soil application of magnesium sulphate and dolomite on the quality of potato tubers*. American Potato Journal, 1987. **64**(1).
310. Grimme, H., *Aluminium induced magnesium deficiency in oats*. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 1983. **146**(5): p. 666-676.
311. Wilkinson, S., et al., *Magnesium in plants: uptake, distribution, function, and utilization by man and animals*. 1990.
312. H. Kolbe, S.S.-B., *Development, growth and chemical composition of the potato crop (Solanum tuberosum L.). I. leaf and stem*. Potato Research, 1997. **40**: p. 111-129.
313. Allison, M., J. Fowler, and E. Allen, *Factors affecting the magnesium nutrition of potatoes (Solanum tuberosum)*. The Journal of Agricultural Science, 2001. **137**(04): p. 397-409.
314. Talukder, M., et al., *Effects of magnesium on the performance of potato in the Tista Meander Floodplain soil*. Bangladesh Journal of Agricultural Research, 2010. **34**(2): p. 255-261.
315. Klein, L.B., S. Chandra, and N.I. Mondy, *Effect of magnesium fertilization on the quality of potatoes. Yield, discoloration, phenols, and lipids*, 1981, American Chemical Society. p. 384-387.
316. Mondy, N.I. and R.L. Koch, *Influence of nitrogen fertilization on potato discoloration in relation to chemical composition. I. Lipid, potassium, and dry matter content*, 1978, American Chemical Society. p. 666-669.
317. Mattsson, L., *Balansen kalcium–magnesium i marken och skalkvalitet hos potatis*. 2008.
318. Allison, M., J. Fowler, and E. Allen, *Factors affecting the magnesium nutrition of potatoes (Solanum tuberosum)*. The Journal of Agricultural Science, 2001. **137**(04): p. 397-409.

319. Rogozińska, I., et al., *The effect of different factors on the content of nitrate in some potato varieties*. Potato Research, 2005. **48**(3): p. 167-180.
320. Malakouti, M.J. *The effect of micronutrients in ensuring efficient use of macronutrients*. in *Papers presented at the IFA Agriculture Conference on "Optimization of Resource Use Efficiency for Sustainable Intensification of Agriculture"*, Kunming, China, from 27 February-2 March 2006. 2008. Tubitak.
321. Lundin, L. *Järn*. MarkInfo 2007 [cited 2001 19-01]; Available from: <http://www-markinfo.slu.se/sve/kem/totkem/fe.html>.
322. Hell, R. and U. Stephan, *Iron uptake, trafficking and homeostasis in plants*. Planta, 2003. **216**(4): p. 541-551.
323. Pais, I.a.B., J. J., *The Handbook of Trace Elements* 1997, Florida: St. Lucie Press.
324. Chatterjee, C., R. Gopal, and B.K. Dube, *Impact of iron stress on biomass, yield, metabolism and quality of potato (Solanum tuberosum L.)*. Scientia Horticulturae, 2006. **108**(1): p. 1-6.
325. Allison, M., *The micronutrient needs of sugar beet*. British Sugar Beet Review, 1996. **64**: p. 26-29.
326. Sharma, U.C., *RELATIVE EFFICACY OF METHODS OF ZINC MANGANESE IRON AND COPPER APPLICATION TO POTATO SOLANUM-TUBEROSUM*. Indian Journal of Agricultural Sciences, 1990. **60**(12): p. 806-809.
327. Chatterjee, C., R. Gopal, and B. Dube, *Impact of iron stress on biomass, yield, metabolism and quality of potato (Solanum tuberosum L.)*. Scientia horticulturae, 2006. **108**(1): p. 1-6.
328. Twyman, E., *The iron and manganese requirements of plants*. New Phytologist, 1951. **50**(2): p. 210-226.
329. Muneta P., K.F., *Ascorbic acid-ferrous iron (Fe⁺⁺⁺) complexes and after cooking darkening of potatoes*. American potato journal, 1985. **62**(10): p. 531-536.
330. Wang-Pruski, G., et al., *Effect of soil type and nutrient management on potato after-cooking darkening*, 2007, Springer. p. 291-299.
331. Griffiths, D.W. and H. Bain, *Photo-induced changes in the concentrations of individual chlorogenic acid isomers in potato (Solanum tuberosum) tubers and their complexation with ferric ions*, 1997, Springer. p. 307-315.
332. Eurofins, 2011.
333. Agarwala, S.C.a.S., C. P., *The relation of iron supply to the tissue concentration of iron, chlorophyll and catalase in barley plants grown in sand culture*. Physiologia Plantarum, 1961. **14**(2): p. 275-283.
334. McKenzie, R., *The manganese oxides in soils-A review*. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 1972. **131**(3): p. 221-242.
335. Van Lierop, W., et al., *EFFECT OF LIMING ON POTATO SOLANUM-TUBEROSUM YIELD AS RELATED TO SOIL PH ALUMINUM MANGANESE AND CALCIUM*. Agronomy Journal, 1982. **74**(6): p. 1050-1055.
336. Allison, N., *Comparative determinations of trace and minor elements in coral aragonite by ion microprobe analysis, with preliminary results from Phuket, southern Thailand*. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1996. **60**(18): p. 3457-3470.
337. Krištufek, V., et al., *Accumulation of mineral elements in tuber periderm of potato cultivars differing in susceptibility to common scab*. Potato Research, 2000. **43**(2): p. 107-114.
338. Saha, A.K., I.H. Mian, and M.A. Bari, *Effect of manganese sulfate and sawdust on common scab and potato yield*. Bulletin of the Institute of Tropical Agriculture Kyushu University, 1997. **20**(0): p. 37-42.
339. Lozek, O. and J. Fecenko. *Effects of foliar application of manganese, boron and sodium humate on the potato production*.

340. Mica, B., *The effect of manganese on plant growth and on the quality of potato tubers*. Rostlinna Vyroba, 1975. **21**(5): p. 515-524.
341. Mica, B., *INFLUENCE OF BORON MANGANESE AND ZINC ON THE YIELD AND QUALITY OF POTATOES*. Potato Research, 1975. **18**(4): p. 565-572.
342. Hushållningssällskapet, *Potatis - Mangantillförsel i Shirilanbehandlad potatis*, in *Försöksrapport*, Hushållningssällskapet, Editor 1997.
343. Ma, G., et al., *Effect of manganese sulfate application by leaf spraying on potato yield formation*. Chinese Potato Journal, 2010. **24**(4): p. 230-233.
344. Rajeev, G., B.K. Dube, and C. Chatterjee, *Effect of manganese stress on yield, productivity and metabolism of potato*. Indian Journal of Horticulture, 2006. **63**(2): p. 174-177.
345. Keinath, A. and R. Loria, *Management of common scab of potato with plant nutrients*. 1989.
346. Mortvedt, J.J., Fleischfresser, M. H., Berger, K. C. and Darling, H. M., *The relation of soluble manganese to the incidence of common scab in potatoes*, 1961, Springer. p. 95-100.
347. McGregor, A.J. and G.C.S. Wilson, *The influence of manganese on the development of potato scab*, 1966, Springer. p. 3-16.
348. Davis, J.R., R.E. McDole, and R.H. Callihan, *Fertilizer effects on common scab of potato and the relation of calcium and phosphate-phosphorus*, 1976. p. 1236-1241.
349. Sarkar, D., et al., *In vitro characterization of manganese toxicity in relation to phosphorus nutrition in potato (Solanum tuberosum L.)*. Plant Science, 2004. **167**(5): p. 977-986.
350. Lewis, D.H., *Boron, lignification and the origin of vascular plants - A Unified Hypothesis* New Pathologist, 1980. **84**(2): p. 209-229.
351. Mondy, N.I. and C.B. Munshi, *Effect of boron on enzymic discoloration and phenolic and ascorbic acid contents of potatoes*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1993. **41**(4): p. 554-556.
352. Tyler, G.a.O., T, *Concentrations of 60 elements in the soil solution as related to the soil acidity*. European Journal of Soil Science, 2001. **52**(1): p. 151-165.
353. Hopkins, B., et al., *Boron Fertilization and Evaluation of Four Soil Extractants: Russet Burbank Potato*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2010. **41**(5): p. 527-539.
354. Lora, R., O. Avila, and D. Rodriguez, *Response of creole potato to sources and levels of boron on a soil of Cundinamarca (Colombia)*. Suelos Ecuatoriales, 2002. **32**: p. 23-28.
355. Khalil, I., et al., *Yield and quality of potato as influenced by various levels of boron*. Sarhad Journal of Agriculture (Pakistan), 2002.
356. Porter, G., L. Morrow, and H. Murphy, *Boron fertilization of Katahdin potatoes under acid soil conditions*. Amer. Potato J, 1986. **63**(8): p. 448.
357. Frenkel, O., et al., *Restriction of potato and tomato late blight development by sub phytotoxic concentrations of boron*. Plant Pathology, 2010. **59**(4): p. 626-633.
358. Mesquita, H.A.d., et al., *Yield and quality of the potato in response of boron levels*. Ciencia e Agrotecnologia, 2007. **31**(2): p. 385-392.
359. Mortvedt, J.J., *Bioavailability of micronutrients*, 2000.
360. Ahmad, E., et al., *Potato yield as affected by boron fertilizer mixing with and without farm yard manure*. Sarhad Journal of Agriculture (Pakistan), 1995.
361. MONDY, N. and S. CHANDRA, *Effect of Zinc Fertilization on Yield, Enzymatic Discoloration, Phenolic and Nitrogenous Constituents of Potato Tubers*. Journal of Food Science, 1981. **46**(6): p. 1878-1880.

362. Burgos, G., et al., *Iron and zinc concentration of native Andean potato cultivars from a human nutrition perspective*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2007. **87**(4): p. 668-675.
363. Boawn, L.C. and G.E. Leggett, *Phosphorus and zinc concentrations in Russet Burbank potato tissues in relation to development of zinc deficiency symptoms*, 1964, Soil Sci Soc America. p. 229.
364. Fontes, P.C.R., et al., *Effects of zinc fungicides and different zinc fertilizer application methods on soluble and total zinc in potato plant shoots*. Communications in soil science and plant analysis, 1999. **30**(13): p. 1847-1859.
365. Loneragan, J.F. and M.J. Webb, . *Interactions Between Zinc and Other Nutrients Affecting the Growth of Plants*, 1993, Kluwer Academic Pub. p. 119.
366. Schuhmacher, M., et al., *Chromium, copper, and zinc concentrations in edible vegetables grown in Tarragona Province, Spain*. Bulletin of environmental contamination and toxicology, 1993. **50**(4): p. 514-521.
367. Ghorbani, R., S. Wilcockson, and C. Leifert, *Alternative treatments for late blight control in organic potato: Antagonistic micro-organisms and compost extracts for activity against Phytophthora infestans*. Potato Research, 2005. **48**(3): p. 181-189.
368. Speiser, B., et al., *Improvement of late blight management in organic potato production systems in Europe: field tests with more resistant potato varieties and copper based fungicides*. Biological agriculture & horticulture, 2006. **23**(4): p. 393-412.
369. Mondy, N. and C. Munshi, *Effect of soil and foliar application of molybdenum on the glycoalkaloid and nitrate concentration of potatoes*. Journal of agricultural and food chemistry, 1993. **41**(2): p. 256-258.
370. Arnon, D.I.a.S., P. R., *Molybdenum as an essential element for higher plants*. Plant physiology, 1939. **14**(3): p. 599-602.
371. Mulder, E., *Molybdenum in relation to growth of higher plants and micro-organisms*. Plant and Soil, 1954. **5**(4): p. 368-415.
372. Warington, K., *Observations on the effect of molybdenum on plants with special reference to the Solanaceae* Annals of Applied Biology, 1937. **24**(3): p. 475-493.
373. Munshi, C. and N. Mondy, *Effect of soil applications of molybdenum on the biochemical composition of Katahdin potatoes: nitrate nitrogen and total glycoalkaloids*. Journal of agricultural and food chemistry, 1988. **36**(4): p. 688-690.
374. James, D., W. Weaver, and R. Reeder, *Chloride uptake by potatoes and the effects of potassium chloride, nitrogen and phosphorus fertilization*. Soil Science, 1970. **109**(1): p. 48.
375. Talbott, L.D. and E. Zeiger, *Central roles for potassium and sucrose in guard-cell osmoregulation*. Plant physiology, 1996. **111**(4): p. 1051.
376. Johnson, C., et al., *Comparative chlorine requirements of different plant species*. Plant and Soil, 1957. **8**(4): p. 337-353.
377. Reynolds, B., et al., *Atmospheric inputs and catchment solute fluxes for major ions in five Welsh upland catchments*. Journal of Hydrology, 1997. **194**(1-4): p. 305-329.
378. Beringer, H., K. Koch, and M. Lindhauer, *Source: sink relationships in potato (Solanum tuberosum) as influenced by potassium chloride or potassium sulphate nutrition*. Plant and Soil, 1990. **124**(2): p. 287-290.
379. Broyer, T., et al., *Chlorine—a micronutrient element for higher plants*. Plant physiology, 1954. **29**(6): p. 526.
380. Marschner, H., *Mineral nutrition of higher plants*. 1 ed. ed1986, San Diego: Academic Press.
381. K.V.A. Richardson, A.C.W.a.P.D.S.C., *Cell exposure and nuclear degradation in root meristems following exposure of potatoes (Solanum tuberosum L.) to salinity*. Potato Research, 2001. **44**: p. 389-399.

382. Van Loon, C. and W. Van Den Berg, *The effect of chloride fertilization on blackspot susceptibility and other quality characteristics and on yield of potato*. Potato Research, 2003. **46**(3): p. 147-154.
383. Cowie, G., *The relative responses of the potato crop to different potash fertilizers*. Empire journal of experimental agriculture, 1943. **2**: p. 23.
384. Lehr, J., *Sodium as a plant nutrient*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1953. **4**(10): p. 460-471.
385. Berger, K., F. Potterton, and E. Hobson, *Yield, quality, and phosphorus uptake of potatoes as influenced by placement and composition of potassium fertilizers*. American Journal of Potato Research, 1961. **38**(8): p. 272-285.
386. Hang, Z., *Influence of chloride on the uptake and trans-location of phosphorus in potato*. Journal of Plant Nutrition, 1993. **16**(9): p. 1733-1737.
387. Welch, R.M., *The biological significance of nickel*. Journal of Plant Nutrition, 1981. **3**(1): p. 345-356.
388. Denkhaus, E. and K. Salnikow, *Nickel essentiality, toxicity, and carcinogenicity*, 2002, Elsevier. p. 35-56.
389. Nicholson, F., et al., *An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales*. The Science of the Total Environment, 2003. **311**(1-3): p. 205-219.
390. Hawkins, A., *Phosphorus and nitrogen sources in fertilizer blends for potato*. American Potato Journal, 1972. **49**(9): p. 368-&.
391. Bai, C., C. Reilly, and B. Wood, *Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids of young pecan foliage*. Plant physiology, 2006. **140**(2): p. 433.
392. Shukla, R., *Excess Nickel Alters Growth, Metabolism, and Translocation of Certain Nutrients in Potato*, 2009, Taylor & Francis. p. 1005-1014.
393. Timashov, N.D., *Effect of foliar application of the micro-elements molybdenum and nickel on some metabolic processes in the potato plant*. Fiziologiya Rastenii, 1959. **6**: p. 354-357.
394. Crusciol, C.A.C., et al., *Effects of Silicon and Drought Stress on Tuber Yield and Leaf Biochemical Characteristics in Potato*, 2009, Crop Sci Soc America. p. 949.
395. Lundin, L. *Kisel*. MarkInfo 2007 [cited 2011 19-01]; Available from: <http://www-markinfo.slu.se/sve/kem/totkem/si.html>.
396. Ma, J.F., *Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses*, 2004, JAPANESE SOCIETY OF SOIL SCIENCE & PLANT NUTRITION. p. 11-118.
397. Gomes, F.B., J.C. Moraes, and D.K.P. Neri, *Fertilization with silicon as resistance factor to pest insects and promoter of productivity in the potato crop in an organic system*, 2009, SciELO Brasil. p. 18-23.
398. Ranger, C.M., et al., *Influence of Silicon on Resistance of Zinnia elegans to Myzus persicae (Hemiptera: Aphididae)*, 2009, BioOne. p. 129-136.
399. Gomes, F., J.C. Moraes, and G.A. Assis, *Silício e imidacloprid na colonização de plantas por Myzus persicae e no desenvolvimento vegetativo de batata inglesa*. Ciência Rural, 2008. **38**(5): p. 1209-1213.
400. Reimann, C., et al., *The influence of a city on element contents of a terrestrial moss (Hylocomium splendens)*. Science of the Total Environment, 2006. **369**(1-3): p. 419-432.
401. Davenport, R.J. and M. Tester, *A weakly voltage-dependent, nonselective cation channel mediates toxic sodium influx in wheat*. Plant physiology, 2000. **122**(3): p. 823.
402. Demidchik, V. and F.J.M. Maathuis, *Physiological roles of nonselective cation channels in plants: from salt stress to signalling and development*. New Phytologist, 2007. **175**(3): p. 387-404.

403. Juzl, M., *Analysis of different selenium levels influence on leaf area index (LAI), hectare yield and selenium content in potato tubers*. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 2008. **56**(4): p. 77-84.
404. Wu, W.B., *Concentration of selenium by precipitating proteins from potato juice*. International Journal of Food Science and Technology, 2011. **46**(2): p. 402-405.
405. Tsrar, L., E. Shlevin, and I. Peretz-Alon, *Efficacy of metam sodium for controlling Verticillium dahliae prior to potato production in sandy soils*. American Journal of Potato Research, 2005. **82**(5): p. 419-423.
406. Palit, S., Sharma, A. and Talukder, G., *Effects of cobalt on plants*. The botanical review, 1994. **60**(2): p. 149-181.
407. Macklon, A. and A. Sim, *Cellular cobalt fluxes in roots and transport to the shoots of wheat seedlings*. Journal of experimental botany, 1987. **38**(10): p. 1663.
408. Watanabe, T., et al., *Evolutionary control of leaf element composition in plants*. New Phytologist, 2007. **174**(3): p. 516-523.
409. Rinne, R. and R. Langston, *Effect of growth on redistribution of some mineral elements in peppermint*. Plant physiology, 1960. **35**(2): p. 210.
410. Lipskaya, G., *Structural organization of the photosynthetic apparatus of leaves of potato supplied with different cobalt rates*. Botanika (Issledovaniya), Moscow, USSR, 1980(22): p. 203-212.
411. Gorid'ko, I.V. and V.F. Egorov, *The role of cobalt in increasing potato and tomato drought resistance*. Nauch. Trudy Kursk. Ped. In-t, 1978. **185**: p. 27-32.
412. Germ, M., et al., *Combined effects of selenium and drought on photosynthesis and mitochondrial respiration in potato*. Plant Physiology and Biochemistry, 2007. **45**(2): p. 162-167.
413. Seppänen, M., M. Turakainen, and H. Hartikainen, *Selenium effects on oxidative stress in potato*. Plant Science, 2003. **165**(2): p. 311-319.
414. Turakainen, M., H. Hartikainen, and M.M. Seppänen, *Effects of selenium treatments on potato (Solanum tuberosum L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004. **52**(17): p. 5378-5382.
415. Munshi, C., G. Combs Jr, and N. Mondy, *Effect of selenium on the nitrogenous constituents of the potato*. Journal of agricultural and food chemistry, 1990. **38**(11): p. 2000-2002.
416. Borowska, K. and J. Koper. *The effect of manure on the selenium content in soil and potato tubers*. in IX Symposium Polish Academy of Sciences "Trace Elements - Criteria of Environmental Quality", Sarnowek, Poland, 11-12 May 2006.