



Trädgårdsblåbär

Växtnäringsbehov och gödsling

Siri Caspersen*, **Thilda Håkansson****, **Christina Winter*****

* Inst. för biosystem och teknologi, SLU Alnarp

** HIR Malmöhus

*** Jordbruksverket

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

Rapport 2013:10

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-87117-42-8

Alnarp 2013



LANDSKAP TRÄDGÅRD JORDBRUK

Rapportserie

Trädgårdsblåbär

Växtnäringsbehov och gödsling

Siri Caspersen^{*}, Thilda Håkansson^{}, Christina Winter^{***}**

^{*} Inst. för biosystem och teknologi, SLU Alnarp

^{**} HIR Malmöhus

^{***} Jordbruksverket

Bilderna på framsidan är tagna av:

Thilda Håkansson (ovan vänster),
Christina Winter (ovan höger, nedan höger)
och Siri Caspersen (nedan vänster).

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

Rapport 2013:10

ISSN 1654-5427

ISBN 978-91-87117-42-8

Alnarp 2013

FÖRORD

Odlingen av trädgårdsblåbär har genomgått en snabb utveckling i Sverige under de senaste åren. Intresset för odlade blåbär är stort från både odlare och konsumenter. Samtidigt har utbudet av odlade blåbär i handeln ökat kraftigt. För att främja den svenska odlingen av trädgårdsblåbär behövs mer kunskap om hur kulturen bäst skall skötas under våra förhållanden. Det finns ett stort antal vetenskapliga studier och ett stort utbud av rådgivningslitteratur om odlade blåbär, i första hand från Nordamerika där odlingen initierades på början av 1900-talet. Under senare delen av 1900-talet etablerades kommersiell odling av och försöksverksamhet kring trädgårdsblåbär även i många europeiska länder.

Huvudsyftet för projektet *Näringsupptag och gödsling i odlade blåbär – omvandla forskningsresultat till gårdsanpassade rekommendationer* har varit att skapa en brygga mellan kunskap och användning. De konkreta målen för projektet har dels varit att göra en mer omfattande litteratursammanfattning om odlade blåbärs växtnäringsbehov, dels att ta fram ett faktablad om näringsupptag och gödsling, och dels att visa hur kunskap om näringsupptag kan resultera i bättre anpassade gödslingsrekommendationer som kan implementeras på gårdsnivå för ekologisk och konventionellt odlade blåbär.

Denna rapporten omfattar en sammanställning av internationell vetenskaplig litteratur kring blåbärs krav på jord och växtnäring. I LTJ-fakultetens faktablad 2013:7 presenteras konkreta råd om gödsling och jordförbättring som är baserade på informationen i litteraturreporterna. Gödslingsrekommendationer för exempelgårdar kommer att publiceras av Jordbruksverket.

Tack till Tillväxt Trädgård och Jordbruksverket som har möjliggjort projektet. Tillväxt trädgård har finansierat Thilda Håkansson och Siri Caspersens medverkan i projektet medan Christina Winters arbetstid har finansierats av Jordbruksverket.

Författarna, april 2013

Siri Caspersen

Thilda Håkansson

Christina Winter

These plants differ in their soil requirements so fundamentally from all our common cultivated crops that it is useless to expect to succeed with their culture without a thorough understanding of the principles governing their growth.

FV Coville, 1910

SAMMANFATTNING

Trädgårdsblåbär omfattar odlade arter och hybrider av blåbär. I Sverige odlas idag *Vaccinium corymbosum* och hybrider mellan *V. corymbosum* och *V. angustifolium*. Bären innehåller mycket antioxidanter och ökar i popularitet som dessertbär. *Vaccinium*-arter är anpassade för att växa på lätta jordar med mycket organiskt material, lågt pH och god tillgång på vatten. Vid kommersiell odling av blåbär kan odlingen emellertid ofta behöva etableras på mineraljordar med ett högre pH. I dessa fall är det viktigt att odlingssubstratet anpassas efter växtens behov eftersom en blåbärskultur är kostsam att etablera och bör kunna växa och ge skörd under lång tid vid rätt odlingsförhållanden. Om markens innehåll av organiskt material är lågt rekommenderas inblandning av organiskt material, till exempel sågspån eller torv i jorden. Marktäckning med sågspån, bark eller torv har oftast gett en positiv effekt på tillväxt och skörd.

Det rekommenderade pH-området för trädgårdsblåbär ligger vanligen från pH 4,0 till pH 5,2–5,5. Vid ett högre pH finns risk för brist på mikronäringsämnen, särskilt järn. Vid ett för lågt pH kan höga halter av aluminium eller mangan skada rötterna samt hämma tillväxten. Känsligheten för både järnbrist och för toxicitet av aluminium och mangan varierar mellan olika sorter. Om markens pH behöver sänkas innan etablering av kulturen rekommenderas vanligen inblandning av elementärt svavel året innan. Inblandning av eller marktäckning med torv eller med sågspån eller bark av tall kan användas för att uppnå mindre pH-sänkningar och kan bidra till att öka växttillgängligheten av järn.

De flesta *Vaccinium*-arter är anpassade för att växa vid en låg kvävetillgång och blåbär har generellt ett relativt lågt näringsbehov. Höga kvävegivor kan reducera tillväxten och unga plantor kan dö. För mycket kväve kan även ge ökad vinterskada. En kvävegiva på 50-60 kg per hektar till en odling som ger full skörd har gett bra tillväxt och skörd i många försök. Till yngre odlingar bör kvävegivan begränsas. Vid marktäckning med organiskt material måste kvävegivan ökas beroende på hur mycket kväve som kommer att bindas in i samband med nedbrytningen. Både ammonium och nitrat kan fungera som kvävekällor så länge kvävetillförseln är låg och pH inte blir för högt. Blåbär har emellertid en sämre förmåga att använda nitrat jämfört med många andra växtslag och flera försök har visat bättre tillväxt med ammonium eller med en blandning av ammonium och nitrat som kvävekällor. Kvävegödseln bör tillföras mellan blomning och skörd när upptaget är som störst. Att dela givan på två eller tre tillfällen har ofta gett bättre effekt än en giva. Tillförsel av mycket kväve kan inverka negativt på förekomsten av ericoid mykorrhiza i rötterna.

Även kalium kan behöva tillföras och behovet ökar vid hög fruktsättning. Publicerade data indikerar att förhållandet mellan mängderna av kväve och kalium som behöver tas upp i blåbärspplantan varierar från 100:40 till 100:75 för unga respektive äldre plantor. Förhållandet mellan upptaget av kväve och fosfor ligger kring 100:10, och behovet av fosforgödsling är vanligen lågt. Blåbär tar effektivt upp kalcium och brist är mycket ovanligt, men tillförsel av kalcium har ibland haft positiv effekt på bärens fasthet. Kulturens näringsstatus bör följas upp med bladanalyser och näringsämnen tillföras vid eventuell brist. Blåbär är mycket känsliga för höga salthalter och för mycket natrium och klor bör undvikas.

SUMMARY

Vaccinium corymbosum and hybrids between *V. corymbosum* and *V. angustifolium* are the blueberry types cultivated in Sweden today. Blueberries contain high amounts of antioxidants and their popularity as dessert berries is increasing. *Vaccinium*-species are adapted to light soils with high organic matter content, acid pH and ample water supply. In commercial blueberry cultivation, the crop is often established on mineral soils with a higher pH. As establishment costs are high and the crop will continue to develop and yield for many years under good conditions, it is important to adapt the growing substrate after the plants' requirements. If the soil organic matter content is low, soil amendment with organic matter like sawdust or peat is recommended. Mulching with sawdust, bark or peat also commonly has a positive effect on plant growth and yield.

The recommended soil pH-range for blueberry cultivation varies but is commonly between pH 4,0 to pH 5,2–5,5. At higher pH, there is a risk for micronutrient deficiency, in particular for iron. If pH is too low, high amounts of aluminium or manganese may damage roots and retard growth. The sensitivity for iron deficiency and for aluminium and manganese toxicity varies between cultivars. For lowering of soil pH before crop establishment, soil amendment with elementary sulphur the year before is commonly recommended. Soil amendment or mulching with peat or sawdust or bark from pine trees may be used for smaller pH reductions, and may also increase iron availability.

Most *Vaccinium*-species are adapted to grow at low nitrogen availability, and blueberries generally have a low nitrogen requirement. High amounts of nitrogen may reduce plant growth and young plants may die. Too much nitrogen may also increase winter injury. For a fully yielding crop, a nitrogen amount of 50-60 kg per hectare has been reported to give good growth and yield from many experiments. For younger plants, the amount of nitrogen should be lower. If the plants are mulched with organic matter, the amount of nitrogen should be increased in accordance with the amount of nitrogen that will be immobilized when the organic matter is decomposed. Both ammonium and nitrate may be used as a nitrogen sources as long as the total amount of nitrogen supplied is low and pH is not too high. However, blueberries do have a lower ability to utilize nitrate than many other plant species, and several experiments have shown better growth of blueberries with ammonium, or with a mixture of ammonium and nitrate, than with nitrate only as a nitrogen source. Nitrogen fertilizer should be applied when plant uptake is high. Splitting the nitrogen application on two or three occasions is often preferable to a single application. Addition of high amounts of nitrogen may negatively affect the occurrence of ericoid mycorrhizas in blueberry roots.

Potassium may also need to be added and the potassium requirement of the plant increases when fruit production is high. Published data indicate that the relationship between the amount of nitrogen and potassium in the plant varies from 100:40 to 100:75 for young and older plants, respectively. The relationship between nitrogen and phosphorus is approximately 100:10, and the need for phosphorus fertilizer is often low. Blueberries efficiently acquire calcium and deficiency is uncommon. In some experiments, however, calcium addition has had a positive effect on berry firmness. The nutrient status of the crop should be followed by leaf analysis and mineral nutrients added when risk of deficiency is indicated. Blueberries are sensitive to high amounts of salts and addition of too much sodium and chlorine should be avoided.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	1
SAMMANFATTNING	3
SUMMARY	4
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	5
1. TRÄDGÅRDSBLÅBÄR	7
2. ROTSYSTEMET HOS BLÅBÄR	8
3. MYKORRHIZA	10
4. KRAV PÅ JORDEN	12
5. BLÅBÄRS BEHOV AV MINERALNÄRINGSÄMNE	14
5.1 KVÄVE (N).....	14
5.2 SVAVEL (S).....	16
5.3 FOSFOR (P)	17
5.4 KALIUM (K).....	17
5.5 MAGNESIUM (MG).....	18
5.6 KALCIUM (CA)	18
5.7 JÄRN (FE).....	19
5.8 MANGAN (MN).....	21
5.9 ZINK (ZN).....	22
5.10 KOPPAR (CU).....	22
5.11 BOR (B)	22
5.12 MOLYBDEN (MO).....	23
5.13 ALUMINIUM (AL).....	23
5.14 NATRIUM (NA) OCH KLOR (CL)	24
6. ANALYSER OCH VÄXTNÄRINGSINNEHÅLL	27
6.1 JORDANALYSER	27
6.2 BLADANALYSER	27
6.3 KONCENTRATIONER AV VÄXTNÄRINGSÄMNE I BLADEN	27
6.4 SYMPTOM PÅ MINERALNÄRINGSBRIST	30
7. JORDFÖRBÄTTRING OCH MARKTÄCKNING	32
7.1 ERSÄTTNING AV JORDEN MED ORGANISKT ODLINGSSUBSTRAT	32
7.2 INBLANDNING AV ORGANISKT MATERIAL I JORDEN	32
7.3 MARKTÄCKNING	33
8. PH-JUSTERING	36
8.1 SÄNKA PH MED ELEMENTÄRT SVAVEL	36
8.2 PH-SÄNKNING MED FÖRSURANDE GÖDSELMEDEL	37
8.3 BEVATTNING OCH PH	37
9. GÖDSLING	38
9.1 FÖRHÅLLET MELLAN OLIKA VÄXTNÄRINGSÄMNE I VÄXTEN	38
9.2 TILLFÖRSEL AV KVÄVE, FOSFOR OCH KALIUM	38
10. DISKUSSION OCH SLUTSATSER	43
11. REFERENSER	47

1. TRÄDGÅRDSBLÅBÄR

Den yrkesmässiga odlingen av blåbär har tagit fart i Sverige under de senaste åren och det finns förväntningar om en fortsatt positiv utveckling av försäljningen av svenskodlade blåbär (Ekelund & Öhman Nilsson 2010). De odlade blåbärens storlek och mycket goda smak gör dem attraktiva både som dessertbär och som ingrediens i bakverk och annan matlagning. Både vilda och odlade typer av blåbär innehåller dessutom mycket antocyaniner och andra ämnen som kan fungera som antioxidanter (Åkerström 2010, Bornsek mfl 2012), och flera positiva hälsoeffekter har påvisats (Howell 2009).

Blåbär tillhör familjen Ericaceae (ljungväxter). De blåbärstyper som odlas i Sverige idag omfattar främst högväxande blåbär baserade på arten *Vaccinium corymbosum* L. ("highbush") och hybrider mellan *V. corymbosum* och lågväxande blåbär *V. angustifolium* Ait. ("lowbush"). Två svenska hybridsorter, Emil och Putte, har tagits fram vid SLU-Balsgård och säljs idag av många plantskolor. En blåbärsart som odlas mycket i varmare områden är *V. ashei* Reade ("rabbiteye"). I USA har det även tagits fram hybrider mellan *V. corymbosum* och arterna *V. ashei* och *V. darrowi* som kallas "Southern highbush" och är bättre anpassad för det varmare klimatet i södra USA (Lyrene 1990). Ovan nämnda arter tillhör alla sektionen Cyanococcus (Retamales & Hancock 2012). Den blåbärsart som växer vild i Sverige, *V. myrtillus* ("bilberry"), tillhör sektionen Myrtillus.

I Sverige kallas odlade blåbär ofta "amerikanska blåbär" eftersom arternas ursprung är Nord-amerika. Detta skulle kunna leda till missuppfattningen bland konsumenter att bären är odlade i Amerika. Namnet **amerikanskt blåbär** är dessutom vigt åt arten *Vaccinium corymbosum*, medan korsningar mellan *V. corymbosum* och *V. angustifolium* ("half-highs") i Sverige har fått namnet **hybridblåbär** (Aldén & Ryman 2009). I denna rapport har vi valt att använda det svenska namnet **trädgårdsblåbär** som en samlande beteckning för odlade blåbärstyper (Björn Aldén, pers. medd.).

Under 2011 odlades trädgårdsblåbär på 12,3 ha i Sverige (Jordbruksverket 2012a). Intresset för användning och odling av trädgårdsblåbär är ökande och det bör finnas goda möjligheter för att utöka den svenska arealen. I den nordöstra delen av Amerika odlas även naturligt förekommande bestånd av lågväxande blåbär ("wild blueberry") i en vanligen tvåårig produktionscykel där de beskärs helt ner till marken vart annat år (Yarborough 2012). Denna typ av blåbärsodling förekommer i nuläget inte i Sverige, men arbete pågår för att undersöka möjligheterna för extensiv odling av *V. myrtillus* i nordiska länder (Åkerström 2010, Nestby *et al.* 2011).

Syftet med denna rapport är att sammanställa den internationella litteraturen kring odlade blåbär för att belysa blåbärens speciella krav på odlingssubstrat, pH och näringstillgång. Huvudvikten ligger på högväxande blåbär (*V. corymbosum*) och hybridblåbär (*V. corymbosum* x *V. angustifolium*), men även forskningsresultat för andra arter och hybrider av blåbär kommer att användas. Vi har även gett ut ett faktablad som bygger på rapporten (Håkansson *et al.* 2013).

2. ROTSYSTEMET HOS BLÅBÄR

Rotmorfologi: Fina hårrötter tar upp näring och vatten

Blåbär har fina absorberande rötter med en diameter på mindre än 50 µm som saknar rothår och kallas *hårrötter* (Coville 1910, Eck 1966, Gough 1994). Valenzuela-Estrada *et al.* (2008) studerade rotmorfologin hos *V. corymbosum* cv. Bluecrop och fann att rotdiametern för de tunnaste rötterna var endast 20 µm, alltså kring dubbla tjockleken jämfört med ett typiskt rothår. När rotsystemet delades in i olika kategorier efter hur många gånger rötterna förgrenade sig, såg man att rötterna i den 1:a ordningen (rötter med rotspets, alltså den yttersta förgreningen) utgjorde nästan hälften av den totala rotlängden för de fem första förgreningsordningarna. Den specifika rotlängden för den finaste rotkategorin var hela 83 cm/mg. En så stor rotlängd per viktenhet visar att växtens kostnader för att producera dessa rötter är låg jämfört med kostnaden för att producera en motsvarande längd tjockare rötter.

Blåbärsrötter skulle kunna förväntas vara mycket kortlivade jämfört med rötterna hos andra vedartade växter eftersom de är så tunna (Eissenstat 1992). Valenzuela-Estrada *et al.* (2008) visade emellertid att för *V. corymbosum* hade rötterna inom de tre första förgrenings-ordningarna en intermediär livslängd. För rötter av 1:a och 2:a ordningen var livslängden hela 115–120 dagar.

Baserad på rotdiametern och den eventuella närvaron av ledningsvävnad i rötterna drog Valenzuela-Estrada *et al.* (2008) slutsatsen att det var rötterna av 1:a och 2:a ordningen som i första hand användes för absorption av näring. Rötter av 5:e och högre ordningar hade en sekundär utveckling och användes främst för förankring och för att leda vatten och näring. Rötter av 3:e och 4:e ordningen hade en mellanposition i övergången från en absorberande till en ledande funktion.

Rötternas fördelning i odlingssubstratet

Rotsystemet hos blåbär är grunt (Gough 1980, Eck 1988). I skogsjord finns blåbärsrötterna främst i det mer nerbrutna organiska materialet i ytlagren (Korcak 1988). Hos odlade blåbär är rötterna vanligen koncentrerade i de organiska lagren i jordprofilen eller i tillförd marktäckning (Gough 1980, Spiers 2000, Eichholz *et al.* 2011). Gough (1980) observerade störst rotutvecklingen i de lägre delarna av det organiska materialet som var under nedbrytning. Bläsing (1989) jämförde rotfördelningen hos *V. corymbosum* som växte på tallskogsjord med buskar som planterats på åkerjord. Skogsjorden innehöll mer organiskt material och hade ett lägre pH än åkerjorden. I skogsjorden hade rotsystemet en mycket vidare och djupare utbredning jämfört med rotsystemet i åkerjord. I åkerjorden fanns rotsystemet koncentrerat inom en radie på 30 cm från plantan och ett djup på 20 cm och var mycket tätare och mer kompakt jämfört med rotsystemet i skogsjorden.

Gough (1980) undersökte hur rötterna fördelades i odlingssubstratet för *V. corymbosum* cv. Coville och Lateblue. Över 80% av rötternas torrmasa fanns i de övre 36 cm i marken. Högväxande blåbär med marktäckning hade 83% av rötterna i de övre 15 cm av jorden jämfört med 40% utan marktäckning (Abbot & Gough 1987). Generellt fanns ca 50% av rötterna inom 30 cm från "kronan" och 80–85% inom 60 cm (Gough 1980). Marktäckning med tallbark gav en bättre rotutveckling för Southern highbush cv.

Gulfcoast jämfört med inblandning av torv i jorden eller bevattning (Spiers 2000). Vid marktäckning var rötterna koncentrerade i de övre 15 cm i jorden medan bevattning eller inblandning av torv i jorden gav ett djupare rotsystem (Spiers 2000).

Rotfördelningen skiljer sig även mellan olika blåbärsarter. För *V. angustifolium* finns huvuddelen av rotsystemet (rhizomerna) i den organiska ythorisonten samt i det övre, humusrika mineraljordsskiktet (Eck 1966). Rabbiteye har en djupare rotfördelning på väl-dränerade jordar men ett mer begränsat rotningsdjup på jordar med sämre dränering (Korcak 1988).

Rottillväxten är störst på hösten

Abbot & Gough (1987) studerade rottillväxten under odlingssäsongen för tre sorter av *V. corymbosum* (Bluecrop, Earliblue, Lateblue) i Rhode Island i nordöstra USA. De fann att rötterna hade två tillväxtfaser. En mindre topp i rottillväxten sammanföll med fruktsättningen i början av juni. Den största toppen för rottillväxten inföll i september, efter skörden och samtidigt med initieringen av blomknopparna. Maximal skottillväxt och rottillväxt sammanföll ganska bra under säsongen. För skotten låg emellertid den största tillväxttoppen i första halvan av juni, cirka två veckor efter den första toppen i rottillväxten. Den andra toppen i skottillväxten inföll i mitten av augusti, cirka två veckor innan rottillväxtens huvudtopp i september. Perioden med långsam tillväxt av rot och skott under sommaren sammanföll med perioden för utveckling och mognad av frukten. Rottillväxten reducerades starkt när jordtemperaturen sjönk under 8 °C (Abbott & Gough 1987).

Roten har begränsad förmåga att transportera vatten och näring horisontellt

I motsats till många andra växter har blåbär en begränsad förmåga att transportera vatten och näring jämt genom hela växten (Gough 1984, Valenzuela-Estrada *et al.* 2009). Gödsel som tillförs till den ena sidan av busken kommer därför främst att bidra med näring till denna sidan (Gough 1984). Valenzuela-Estrada *et al.* (2009) lot ena halvan av rotsystemet hos *V. corymbosum* Bluecrop växa i våt jord medan den andra halvan fick växa i jord som gradvis torkade ut. Det visade sig att plantan hade en begränsad förmåga att omfördela vatten från rötter i våt jord till rötter i torr jord. Det var de finaste rötterna i den permanenta delen av rotsystemet som hade det största motståndet mot att leda vatten. Författarna föreslog därför att dessa rötter skulle kunna fungera som en säkerhetskontroll för att begränsa vattentransporten till andra delar av rotsystemet vid vattenbrist.

3. MYKORRHIZA

Blåbär bildar ericoid mykorrhiza

De flesta ljungväxter har ericoid mykorrhiza (Gorman & Starrett 2003). Coville rapporterade redan i 1910 att cellerna i de fina rötterna hos blåbär innehöll mykorrhizasvampar. Den största mykorrhizakoloniseringen hos högväxande blåbär finns i de tunnaste rötterna (Valenzuela-Estrada *et al.* 2008). Svampen bildar hyfnystan i hårrötternas förstörade epidermceller (Read 1996), och hyferna växer sedan från epidermcellerna ut i jorden kring hårroten.

I de sura hedjordar som utgör den naturliga ståndorten för många *Vaccinium*-arter sker ombildningen av organiskt material långsamt och mineralnäringssämnen som kväve och fosfor föreligger därför till stor del i organiskt bundna former (Read 1996). Coville (1910) föreslog att mykorrhizasvampen bidrar till att göra torvjordens otillgängliga kväveformer tillgängliga för blåbärplantan. Det har senare visats att ericoida mykorrhizasvampar kan öka värdväxtens upptag av både kväve och fosfor (Read & Stribley 1973). Svampen kan ta upp både ammonium och nitrat samt organiska kväveföreningar i form av aminosyror och peptider (Stribley & Read 1976, Bajawa *et al.* 1985, Bajawa & Read 1986). Ericoida mykorrhizasvampar kan även bidra till växtens järnupptag (Shaw *et al.* 1990).

Mykorrhizaförekomst hos odlade blåbär

Undersökningar från olika delar av världen har visat att det bildas mykorrhiza med naturligt förekommande svampar i rötterna även hos odlade blåbär (Boyer *et al.* 1982, Czesnik & Eynard 1989, Kasurinen & Holopainen 2001, Scagel & Yang 2005, Stevens *et al.* 1997). Vilda blåbärbestånd har emellertid ofta högre mykorrhizakolonisering jämfört med odlade (Boyer *et al.* 1982, Stevens *et al.* 1997, Kasurinen & Holopainen 2001). Mer ericoid mykorrhiza fanns hos *V. corymbosum* på tallskogsmark jämfört med åkermark (Bläsing 1989). Scagel & Yang (2005) rapporterade att unga plantor i blåbärsodlingar hade högst kolonisering i de övre 15 cm av jorden, där de finaste rötterna fanns. För äldre plantor fanns den högsta koloniseringen från 15–30 cm. Även vid kontainerodling är rötterna ofta koloniserade med mykorrhizasvampar, men koloniseringsgraden är vanligen låg och varierar starkt mellan olika krukor (Scagel *et al.* 2005).

Det finns skillnader mellan olika blåbärssorter i hur mycket mykorrhiza som bildas i rötterna. I en italiensk undersökning i kommersiella odlingar hade Berkeley och Herbert mer mykorrhizakolonisering än Bluecrop och Darrow (Czesnik & Eynard 1989). I en amerikansk studie hade Blueray mer mykorrhiza jämfört med Jersey (Stevens *et al.* 1997). Från Estland rapporterades högre kolonisering hos Northblue än hos Northcountry (Starast *et al.* 2006).

Scagel & Yang (2005) fann ett negativt samband mellan ammoniumhalten i jorden och både rottillväxten och mykorrhizakoloniseringen i kommersiella blåbärsodlingar i Oregon. I vissa försök har man emellertid inte kunnit påvisa någon effekt av kvävegödsling på förekomsten av ericoid mykorrhiza (Johansson 2000, Jeliakova & Percival 2003, Ishida & Nordin 2010). Gödsling med 50 kg N/ha under 4–12 år påverkade varken koloniseringen med ericoid mykorrhiza eller svampsamhällena i

rötterna hos *V. myrtillus* och *V. vitis-idaea* i svensk gran- respektive tallskog (Ishida & Nordin 2010). Även inverkan av marktäckning på förekomsten av ericoid mykorrhiza varierar. Scagel & Yang (2005) rapporterade att marktäckning gav en högre kolonisering i de övre 15 cm av odlingssubstratet. Starast *et al.* (2006) observerade en ökad förekomst av mykorrhiza hos hybridblåbär vid marktäckning med svart plast. I polska försök hade varken marktäckning eller gödsling med N, K, Mg eller P någon större effekt på förekomsten av mykorrhiza hos *V. corymbosum* cv. Bluecrop (Scibisz *et al.* 1990).

Effekten av ympning beror på blåbärssort, svampisolat och gödsling

Försök med ympning av blåbär med mykorrhizasvampar i kruka eller fält visar mycket varierande resultat (Smagula & Litten 1989, Scagel 2005, Vega *et al.* 2009). Ibland bildar de oypnade kontrollplantorna mykorrhiza med naturligt förekommande svampar (t.ex. Reich *et al.* 1982), något som gör det svårt att mäta effekten av ympningen. Ympning med uppgrävt torvsubstrat från etablerade blåbärsplanteringar med mykorrhiza gav goda effekter på tillväxt och skörd för högväxande blåbär på New Zealand (Powell 1981). Ympning av ett antal sorter av *V. corymbosum* med olika isolat av mykorrhiza-svampar gav ökad skörd och näringsupptag (Scagel 2005). Koron & Gogala (2000) rapporterade ökad tillväxt, förgrening och bladarea när *V. corymbosum* cv. Jersey ympades med mykorrhizasvampar isolerade från rötter av odlade blåbär. Smagula & Litten (1989) fick däremot ingen effekt av ympning av *V. angustifolium* under plantuppdragningen. Yang *et al.* (1998) eliminerade naturligt förekommande mykorrhizasvampar men såg ändå ingen effekt av ympning i fält.

En av orsakerna till att så olika effekter har påvisats i försök kan vara att olika svampar påverkar värdväxten på olika sätt. Till exempel kan vissa svampisolat öka upptaget av mikronäringsämnen som järn, mangan, koppar eller zink, medan andra inte gör det (Scagel 2005). Olika blåbärssorter reagerar dessutom olika på ympning, så ett svampisolat kan ha positiv effekt på vissa sorter, men inte på andra (Scagel 2005). Även inverkan av gödseltillförsel på mykorrhizakolonisering och tillväxt beror både på mykorrhizasvampen och på vilken sort man odlar (Scagel 2005).

4. KRAV PÅ JORDEN

Lätta, humusrika jordar är bäst

Blåbär tillhör gruppen kalkskyende växter (kalcifuger), även kallade surjordsväxter. Liksom vårt vilda blåbär (*Vaccinium myrtillus* L.) föredrar trädgårdsblåbär lätta, humusrika jordar med hög fukthalt och lågt pH (Coville 1910, Korcak *et al.* 1982, Bläsing 1985, Korcak 1988).

Eck (1988) anger att lätta jordar med ett högt innehåll av sand är det bästa för odling av blåbär, men att också organogena jordar och jordar med en lägre andel sand men god struktur fungerar bra. Även jordar med moderat lerhalt kan användas efter inblandning av mycket organiskt material, medan ren sand och tunga lerjordar bör undvikas (Eck 1988, Gough 1994).

Idag etableras kommersiella blåbärsodlingar även på mineraljordar med låga halter av organiskt material och ett högre pH än vad som vanligen räknas som optimalt för blåbär, t.ex. på åkermark som tidigare har använts för grödor med ett högre pH-optimum. För att det skall fungera att odla blåbär på åkermark behövs vanligen åtgärder för att sänka pH, inblandning av organiskt material i odlingssubstratet, marktäckning med organiskt material, samt bevattning (Moore 1993, Gough 1994, Retamales & Hancock 2012). Alternativt kan jorden i den till-tänkta rotzonen bytas ut med ett lämpligt odlingssubstrat med lågt pH, t.ex. torv (t.ex. Schmid *et al.* 2009). Marktäckning och jordförbättring i blåbärsodling beskrivs närmare i kapitel 7.

Blåbär föredrar sura jordar

Blåbär trivs bäst på sura jordar (Coville 1910, Harmer 1944, Hall *et al.* 1964, Smolarz & Mercik 1993). Uppgifterna om det rekommenderade pH-området för högväxande blåbär varierar emellertid mellan olika källor. Till exempel uppger Gough (1994) att pH-området 4,5–5,2 fungerar bra medan Retamales & Hancock (2012) anger 4,5–5,5 som rekommenderad pH-område. Harmer (1944) visade att högväxande blåbär växte bra i pH-området 4,0–5,2 medan 4,5–4,8 var optimalt. Carroll *et al.* (2012) anger pH 4,5–5,0 som bra och 4,5 som optimalt.

Efter att den kommersiella blåbärodlingen startade i USA tidigt på 1900-talet gjordes ett antal försök för att utröna vilket pH-område som fungerade bäst för blåbärsodling. Harmer (1944) gjorde en omfattande studie av hur pH påverkade *V. corymbosum* cv. Rubel i fem olika organogena jordar ("muck soils"). pH ändrades på tre olika sätt: blandning av den mest alkaliska och den suraste jorden i olika förhållanden, tillsatts av rent svavel (S) till alkalisk jord, och tillsatts av malad kalksten till sur jord. För jordblandningarna var tillväxten under år 1 och 2 bäst vid ett pH på 4,1–4,9 under etableringsåret. Det var emellertid pH 5,1 som gav flest klasar, blommor samt antal bär och total fruktvikt under år 2. När pH var 6,2 eller högre var tillväxten minimal och ingen frukt bildades. Vid försurning med svavel var tillväxten under år 1 och 2 bäst vid pH 4,0–4,4 medan fruktvikten var högst vid pH 4,4. I två kalkade jordar var tillväxten bäst vid pH 4,6–5,1 respektive 4,0. Harmer (1944) drog slutsatsen att det bästa pH-området för tillväxt av högväxande blåbär var från 4,0 till 5,2 med optimum från pH 4,5–4,8, men tillade att optimum möjligen ligger lite högre för fruktproduktion än för tillväxt.

Hall *et al.* (1964) undersökte inverkan av pH på tillväxten hos *V. angustifolium* i fyra olika jordbaserade odlingssubstrat. Ett innehöll ren jord och de tre andra jord med inblandning av 33% sågspån eller 40–50% torv+sand. I alla substraten användes olika mineraljordar och olika gödselbehandlingar. Den lägsta pH-nivån som testades var 4,2. Resultaten visade att pH-området 4,2–5,0 var det bästa i de flesta substraten. Men stor variation fanns mellan de olika jordblandningarna och pH påverkade tillväxten starkare i vissa odlingsmedier än i andra.

Smagula & Litten (2003) jämförde tillväxt, blomning, skörd och näringshalter för åtta kloner av *V. angustifolium* i rutor med medel-pH på 4,0 och 4,6. De hittade inga signifikanta skillnader och drog slutsatsen att ett pH på 4,0 inte hade någon negativ effekt för *V. angustifolium*.

Anledningarna till att pH-uppgifterna i litteraturen varierar kan dels vara att olika arter och även sorter kan ha lite olika preferenser när det gäller pH, dels att vad som är optimal pH kan varieras mellan olika jordar (Korcak 1988). Med avseende på växtnäringsämnenas tillgänglighet ligger pH-optimum generellt något lägre i jordar med mycket organiskt material jämfört med mineraljordar (Magnusson 2000, Jordbruksverket 2012b). Organiskt material kan dessutom skydda rötterna mot aluminiumtoxicitet som kan förekomma vid låga pH (Hue *et al.* 1986).

Både för högt och för lågt pH kan ge problem

När jordens pH stiger, sjunker andelen av järn och mangan som föreligger i växttillgängliga former. Vid för höga pH reduceras tillväxten medan unga blad gulnar, så kallad *kalkinducerad kloros* eller *järnkloros* (Cain 1952, 1954, Holmes 1960, Korcak 1988). För blåbär finns risk för järnkloros finns vid pH > 5,2 (Eck 1988, Gough 1994).

Merrill (1944) testade olika låga pH, dels i en torvjord och dels i en sandjord med mycket organiskt material, och definierade pH 3,8 som ett kritiskt minimum för normal tillväxt av blåbär. När pH blir för lågt får bladen brännskador som börjar i kanterna och sprider sig över hela bladet innan det faller av (Merrill 1944). Både skott- och rottillväxten avstannar och rötterna blir korta och förtjockade (Merill 1944, Korcak 1988). Gough (1994) anger att redan när pH sjunker under 4,5 finns risk för toxisk effekt av mangan och aluminium på blåbär, med dålig knoppsprickning och skottdöd som följd. Moore (1993) uppgav att mangantoxicitet förekom vid pH under 5,0 vid odling av blåbär på mineraljordar i Arkansas.

5. BLÅBÄRS BEHOV AV MINERALNÄRINGSÄMNINGEN

Blåbär har ett lågt näringsbehov (Bailey et al 1949, Gough 1994, Carroll et al 2012) och är känsliga för höga gödselgivor (Ingestad 1973, Bañados *et al* 2006a, 2012, Bryla *et al.* 2010, Gough 1994).

5.1 Kväve (N)

Blåbär tar upp nitrat, ammonium och organiska kväveformer

På ljungväxternas naturliga växtplats finns en stor del av kvävet och andra näringsämnen bundna i det organiska materialet (t.ex. Read 1996, Jones & Kielland 2012). Nedbrytning till enklare kväveformer som aminosyror och ammonium (NH_4^+) behöver ske för att växterna skall kunna ta upp kvävet. En viss nitrifikation, som innebär att ammonium reduceras till nitrat (NO_3^-), sker även i dessa jordar (Jones & Kielland 2012). I odlingar av både *V. corymbosum* och *V. angustifolium* är jordens nitrifikationsförmåga förvisso låg, men den är högre än i skogsjordar (Hanson *et al.* 2002, Eaton & Patriquin 1988).

I försök i fält där olika kvävekällor märkta med isotopen ^{15}N har tillsatts skogsjord har det visats att blåbär (*V. myrtillus*) kan ta upp kväve i form av både aminosyror, ammonium och nitrat (Näsholm *et al.* 1998, Persson *et al.* 2003). Sannolikt är det den faktiska förekomsten av olika kväveformer i jorden, och inte fysiologiska anpassningar, som styr växternas upptagning av olika kväveformer i barrskogsekosystem (Kielland *et al* 2006). Ingestad (1976) avvisade att *V. vitis-idaea* skulle ha en fysiologisk preferens för ammonium i förhållande till nitrat.

Som för andra växtslag tar blåbär snabbare upp NH_4^+ än NO_3^- (Ingestad 1973, Peterson *et al.* 1988). För blåbär är även upptagningshastigheten per viktenhet högre för NH_4^+ än för NO_3^- (Sugiyama & Hirooka 1993, Sugiyama & Ishigaki 1994, Merhaut & Darnell 1995). Detta innebär alltså att under samma tidsperiod tar blåbärsrötter upp mer NH_4^+ än NO_3^- per gram rot. Den maximala upptagningshastigheten (V_{max}) för NH_4^+ beräknades till 5,8 $\mu\text{mol NH}_4\text{-N}$ per g rot-färskvikt per timme för *V. ashei* cv. Tifblue (Sugiyama & Hirooka 1993). För NO_3^- var den maximala upptagningshastigheten för Tifblue efter 24 timmar 1,75 $\mu\text{mol NO}_3\text{-N}$ per g rot-färskvikt per timme (Sugiyama & Ishigaki 1994). För Southern highbush cv. Sharpblue var upptagningshastigheterna för $\text{NH}_4\text{-N}$ och $\text{NO}_3\text{-N}$ efter 48 timmar i näringslösning 1,22 respektive 0,6 $\mu\text{mol N}$ per g plant-torrsvikt per timme (Mehaut & Darnell 1995). Upptagningshastigheten för NO_3^- är lägre hos blåbär jämfört med många andra växter (t.ex. Garnett *et al.* 2012).

Assimilation av ammonium och nitrat i växten

Medan ammonium direkt kan byggas in i aminosyror i växten behöver nitraten först reduceras till ammonium innan kvävet kan byggas in i organiska ämnen (*assimileras*). Första steget i omvandlingen av nitrat till ammonium sker med hjälp av enzymet *nitratreduktas* som reducerar nitrat till nitrit. *Vaccinium*-arter har låg eller ingen aktivitet av nitratreduktas i bladen (Townsend 1970, Dirr 1974, Claussen & Lenz 1999) medan en högre aktivitet av nitratreduktas har rapporterats i blåbärsrötter (Townsend

1970, Claussen & Lenz 1999). *Vaccinium*-arter har generellt en sämre förmåga att assimilera nitrat jämfört med andra vedartade växter (Poonnachat & Darnell 2004, Darnell & Hiss 2006). En låg upptagnings-hastighet för nitrat i kombination med en begränsad nitratreduktion i bladen kan vara orsaken till att tillväxthastigheten är lägre med enbart nitrat som kvävekälla (Claussen & Lenz 1999, Darnell & Hiss 2006)

Inverkan av kväveform på tillväxt och skörd

Vaccinium-arter som har fått NO_3^- som enda N-källa har ofta visat lägre tillväxt och gett lägre skörd jämfört med växter som har fått NH_4^+ som enda N-källa (Cain 1952, Peterson *et al.* 1988, Korcak 1989, Finn *et al.* 1991). Cain (1952) drog slutsatsen att ammonium är överlägset nitrat som kvävekälla för blåbär och hävdade att nitrat kan vara skadligt för plantan. Koncentrationerna av $\text{NO}_3\text{-N}$ och $\text{NH}_4\text{-N}$ i näringslösningen var 10 mM = 140 mg/L. Ett försök med krukodlade blåbär i jord där 87,5 mg N tillfördes varje vecka under 16 veckor i form av olika salter av NO_3^- och NH_4^+ visade tydligt att effekten av både nitrat- och ammonium-salterna även berodde på den medföljande katjonen respektive anjonen (Cain 1952). Blåbärsplantorna växte mycket bättre med HNO_3 som nitratkälla jämfört med nitrater med Ca, K eller Na som medföljande katjon. Den sämsta kvävekällan var NaNO_3 .

Ingestad (1973) observerade höga tillväxthastigheter för blåbär (*V. myrtillus*) och lingon (*V. vitis-idaea*) oberoende av om kvävekällan i näringslösningen var ammonium eller nitrat. När $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ var 40:60 togs nitrat och ammonium upp i blåbärsplantan i förhållandet 76:24. Han drog slutsatsen att förhållandet mellan NO_3^- och NH_4^+ sannolikt hade mindre betydelse så länge den totala kvävekoncentrationen låg inom det optimala området. Båda arter hade smala optimala koncentrationsområden för kväve. Särskilt *V. myrtillus* var känslig för höga kvävehalter och skada observerades redan vid 200 mg N/L i form av ammonium eller nitrat. Båda arter ackumulerade kalcium. Den kloros och reducerade tillväxt som observerades när växterna odlades i näringslösning med 100 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ orsakades sannolikt av kalcium (Ingestad 1973). Ingestad (1976) drog slutsatsen att ett högt katjonupptag var orsaken till reducerad tillväxt när *V. vitis-idaea* odlades vid höga nitratkoncentrationer. Sannolikt hade växtens förmåga att bilda organiska syror för att motverka pH-ökning i vävnaderna överskridits vid ackumulering av höga katjonhalter (Ingestad 1976).

Ammoniumtoxicitet, med bladkloros som följd, kan uppstå när för mycket ammonium tillförs (Britto & Kronzucker 2002). Ammonium kan konkurrera med upptagningen av andra katjoner, t.ex. kan konkurrens med NH_4^+ reducera upptaget av kalium, kalcium och magnesium (Peterson *et al.* 1988, Marschner 1995).

Inverkan av pH

Medan upptagningen av nitrat leder till ett högre pH sänker upptagningen av ammonium pH i rotzonen (t.ex. Troelstra *et al.* 1995, Merhaut & Darnell 1996). Försök har därför gjorts på att jämföra NO_3^- och NH_4^+ vid konstant pH (Rosen *et al.* 1990, Sugiyama & Hanawa 1992, Troelstra *et al.* 1995, Merhaut & Darnell 1996).

Rosen *et al.* (1990) jämförde NO_3^- och NH_4^+ som kvävekällor för hybridblåbär (*V. corymbosum* x *V. angustifolium* cv. Northblue) vid pH 4,5 och 6,5. Tillväxten var högre vid pH 4,5 än vid pH 6,5, men för en given pH påverkades inte tillväxten signifikant av kväveformen. Sugiyama & Hanawa (1992) fann också att skotttillväxten för *V. ashei* cv.

Tifblue var den samma för både kväveformer vid pH 5,0. Vid pH 3,0 eller 4,0 var emellertid tillväxten bättre med NH_4^+ än med NO_3^- . Även Troelstra *et al.* (1995) fann en svag tillväxtreduktion med nitrat när olika växter i ljungväxtfamiljen odlades i näringslösning med pH 4,0 och antingen nitrat eller ammonium som kvävekälla. Eftersom nitrat reduceras i roten kommer mer kol att fördelas till roten på bekostnad av skottet. Skott:rot-förhållandet sjunker därmed med nitrat som kvävekälla (Troelstra *et al.* 1995).

Merhaut & Darnell (1996) studerade upptagning och fördelning av kol och kväve i Southern highbush med hjälp av $^{14}\text{CO}_2$ och ^{15}N i form av NaNO_3 eller $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Växterna fick 5,0 mM kväve som $\text{NO}_3\text{-N}$ eller $\text{NH}_4\text{-N}$, och pH justerades till 3,0 respektive 6,5. Upptaget av nitrat var lägre än upptaget av ammonium. Både kol-fördelningen till nya skott och den totala tillväxten var emellertid högre med nitrat som kvävekälla jämfört med ammonium. Nitrat i sig hämmade alltså inte den vegetativa tillväxten. Resultaten visar att blåbär effektivt kan utnyttja nitrat så länge pH i rotzonen ligger inom ett passande område (Merhaut & Darnell 1996).

Optimalt ammonium:nitratförhållande kan variera med ålder, art och sort

Den bästa kvävekällan, särskilt på mineraljordar, är kanske en blandning av ammonium och nitrat (Korcak 1988). Percival & Prive (2002) rapporterade lägre fruktsättning och skörd vid gödsling av lågväxande blåbär med ammoniumnitrat jämfört med gödsling med ammoniumsulfat eller en svavelhaltig ureaprodukt. Lågväxande blåbär och rabbiteye verkar ha en starkare preferens för ammonium jämför med högväxande (Korcak 1988). Young & Cameron (1985) fann att mikroförökade skott av rabbiteye var längre med en blandning av ammonium och nitrat. Det optimala $\text{NH}_4:\text{NO}_3$ -förhållandet varierade emellertid mellan sorter och var 15:85 för Bluebelle och 61:32 för Beckyblue.

Kväveupptagningsmönster

I ett försök med högväxande blåbär cv. Bluecrop i Michigan tog plantorna upp mest kväve under den aktiva tillväxtperioden mellan sen blomning i slutet av maj och fruktmognad i första delen av augusti (Throop & Hanson 1997). Upptaget av kväve var i proportion med tillväxthastigheten, vilket innebar att kväveupptaget styrdes mer av växtens behov än av tillgängligheten i marken (Throop & Hanson 1997). Det effektiva upptaget startade inte förrän skott och blad började växa, och avtog helt när tillväxten avstannade på hösten.

5.2 Svavel (S)

Svavelbrist hos blåbär är ovanligt (Retamales & Hancock 2012) även om blåbär i försök har svarat positivt på gödsling med svavel. Svavel bör tillföras om markens pH är högt.

Flera försök har visat att svavel påverkar upptaget av andra näringsämnen. Tillförsel av svavel reducerade pH i jorden och koncentrationen av kalcium och magnesium i bladen i ett fältförsök med *V. ashei* (Spiers & Braswell 1989). Även Yarborough (2009) visade att bladkoncentrationen av kalcium och magnesium sjönk, medan kalium

och mangan ökade i bären när svavel tillfördes till *V. angustifolium*. Svavel gav även en mildare smak av bären (Yarborough *et al.* 2009).

5.3 Fosfor (P)

Fosforbrist är ovanligt hos blåbär men kan förekomma på mycket sura, fosforfattiga jordar, vid stort läckage från sandiga jordar, eller vid nyodling av jordar med låga fosforhalter (Krewer & Nesmith 1999). Angivna tröskelnivåer för brist varierar mellan 0,05 och 0,09% fosfor av bladens torrsvikt (Hart *et al.* 2006).

Rekommendationer gällande fosforgödsling baseras ofta på analyser av jord och blad. Hart *et al.* (2006) baserar sin rekommendation bland annat på bladanalys i juli-augusti. Om fosforkoncentrationen i bladen överstiger 0,1% tillförs ingen fosfor, i området 0,08-0,1% tillförs 0-20 kg P/ha, och under 0,07% är den rekommenderade tillförseln 20-30 kg P/ha. Både Hanson (1987) och Hart *et al.* (2006) drog slutsatsen att jordanalyser är en dålig indikator för blåbärs fosforbehov. Vid odling i bark kan fosfor behövas eftersom bark har en svag förmåga att binda fosfor (Krewer & Nesmith 1999).

Blåbär har ett lågt behov av fosfor och svarar ofta inte på fosfortillförsel i försök. Högväxande blåbär (cv. Bluecrop och Jersey) gav ingen respons på fosfor i polska försök (Scibisz *et al.* 1990, Smolarz & Mercik 1993, Pliszka *et al.* 1993). Fosforgödsling av Bluecrop gav högre tillgänglighet av fosfor i marken och högre fosforhalt i bladen, men påverkade varken tillväxt eller skörd (Scibisz *et al.* 1990). På samma sätt gav fosforgödsling ökad fosforhalt både i det organiska jordlagret och i bladen, men ingen inverkan kunde observeras på tillväxt eller skörd av lågväxande blåbär (Eaton *et al.* 1997). Heller inte Lafond & Ziadi (2011) fick någon signifikant effekt av fosforgödsling för lågväxande blåbär. Eventuell fosforgödsel bör därför tillföras med försiktighet för att spara ekonomi och miljö (Eaton *et al.* 1997). Höga givor av fosfor kan dessutom inhibera upptaget av koppar, järn och zink (Braswell *et al.* 1997).

5.4 Kalium (K)

Brist förekommer främst på sandiga jordar (Retamales & Hancock 2012). Vid hög fruktsättning rekommenderas kaliumnivåer i bladen på 0,35–0,40% av torrsvikten (Hanson & Hancock 1996). Koncentrationen av K i bären ökar kraftigt efterhand som frukten mognar, till kring 60 mg/bär när frukten är mogen (Hart *et al.* 2006).

Höga kaliumkoncentrationer kan ge obalanser i upptaget av magnesium och kalcium (Retamales & Hancock 2012). På grund av risken för obalans mellan näringsämnen rekommenderas tillförsel av K bara vid påvisad brist och bör undvikas om halten i bladen är högre än 0,40% (Retamales & Hancock 2012).

Rekommendationer gällande kaliumgödsling från Hart *et al.* (2006) baseras på bladanalys i juli-augusti. Vid kaliumkoncentrationer i bladen som överstiger 0,40% av

torrvikten bör ingen extra kalium tillföras; vid 0,21–0,4% K i bladen rekommenderas en giva på 0–70 kg K/ha; när koncentrationen av K understiger 0,2% bör kaliumgivan vara 70–93 kg/ha.

Eck (1983) fann att halten av tillgängligt kalium i jorden, extraherad med ammoniumacetat, var signifikant korrelerad med fruktskörden och att 40 kg K/ha i form av K_2SO_4 gav den bästa skörden för *V. corymbosum* cv. Bluecrop. Fullgödselprodukter sammansatta som NPK kan också användas vid kaliumgödsling (Hanson & Hancock 1996). Tillförsel av kalium med KCl har däremot dödat plantor eller resulterat i mer vinterskador eller reducerad fruktstorlek och bör undvikas på grund av klorinnehållet (Merrill 1944, Townsend 1973).

5.5 Magnesium (Mg)

För blåbär ligger koncentrationerna av Mg i bladen relativt lågt (Tabell 1). Enligt Retamales & Hancock (2012) är magnesiumbrist relativt vanligt i fält. Bristgränsen anges vanligen till 0,1% Mg av torrvikten. Brist kan emellertid uppstå vid 0,2% Mg om kaliumhalterna är höga (Gough 1994, Hanson & Hancock 1996). Om K:Mg-förhållandet i bladen är högre än eller lika med 4:1 kan Mg behöva tillföras, medan Mg > 0,4% vanligen betyder att jordens pH är för högt (Hanson & Hancock 1996, Retamales & Hancock 2012).

Magnesiumbrist kan korrigeras med bittersalt ($MgSO_4$) vid pH > 4,5 eller med dolomitkalk (magnesiumhaltig kalk) vid pH < 4,0–4,5 (Hart *et al.* 2006). Korcak (1988) anger att om inga bristsymtom finns får man liten eller ingen tillväxtrespons på tillförsel av magnesium.

5.6 Kalcium (Ca)

Blåbär har ett lågt behov av kalcium (Korcak 1988). Typiska halter i blåbärsblad är 0,3–0,8% Ca av torrvikten (Eck 1988). Bladens kalciumhalt kan påverkas av skördemängden och är högst de år som har en hög skörd (Eck 1977). Vid låga kalciumnivåer kan höga halter av K reducera kalciumtillgången (Marschner 1995). Brist på Ca är emellertid mycket ovanligt hos blåbär (Hanson & Hancock 1996, Hart *et al.* 2006). Enligt Hanson & Berkheimer (2004) har symptom på kalciumbrist inte rapporterats för högväxande blåbär i fält.

En hög upptagningshastighet för Ca verkar vara karakteristiskt för kalkskyende växter och är viktig för deras förmåga att växa vid extremt låga halter av tillgängligt Ca under naturliga förhållanden (Ingestad 1973, 1976). Om tillgången på Ca är god kan därför blåbär och andra ljungväxter ackumulera höga halter av Ca (Cain 1952, 1954, Ingestad 1973, Korcak 1988). För mycket Ca kan reducera tillväxten hos *Vaccinium*-arter (Ingestad 1973, 1976). Tillförsel av mycket Ca kan även reducera lösligheten av järn och mangan i jorden och ge kalkinducerad kloros (Gough 1994). Både tillväxt och

skörd reducerades för *V. ashei* efter kalkning med CaCO_3 från pH 5,1 till 5,8 (Spiers 1984).

Koncentrationen av Ca i bären sjunker under odlingsperioden (Stückrath *et al.* 2008a). Tillförsel av Ca till jorden eller i form av bladgödsling har i vissa försök har påverkat fruktqualität och lagringsförmåga hos blåbär (Retamales & Hancock 2012). Stückrath *et al.* (2008b) rapporterade att bladgödsling upprepade gånger med kalcium (39 g Ca) under blomning och skörd ökade innehållet av Ca i både blad och bär. Det ökade innehållet av Ca i bären gav fastare bär vid lagring, men bidrog samtidigt till en minskad bärvikt. För att få ökade kalciumnivåer i bären gav framförallt bladgödsling under den första delen av bärsmognad bäst effekt (Stückrath *et al.* 2008b). I försök av Ochmian (2012) ökade bärstorleken på de buskar som bladgödsades med Calcinit (kalciumnitrat) eller Lebosol Calcium Forte. Detta påverkade emellertid inte bärens fasthet. Högst fasthet och motstånd mot mekanisk skada fick man med bladgödselmedel som innehöll CaCl_2 . Efter gödsling med 0,06 kg CaSO_4 per m^2 fick Angeletti *et al.* (2010) lägre viktförluster och fastare bär av O'Neal och Bluecrop den påföljande odlings säsongen. I en studie med *V. angustifolium* påverkade inte bladgödsling med kalcium i form av CaCl_2 frukternas fasthet, men försenade mognad och gav lägre skörd (Chen *et al.* 1998). Årlig tillförsel av kalksten (1 100 kg/ha) eller gips (550 kg/ha) till en jord med pH 4,2 under fem år påverkade varken bärstorlek, skörd eller fasthet hos *V. corymbosum* (Hanson & Berkheimer 2004).

Beccaro *et al.* (2009) jämförde ett kalciumbaserat bladgödselmedel som applicerades 60, 45, 30 och 15 dagar innan skörd med ett kalciumbaserat gödselmedel som tillfördes till jorden vid knoppsprickning samt efter blomning av *V. corymbosum* cv. Lateblue. Leden där blad- och jordbehandlingen med Ca kombinerades gav de lägsta viktförlusterna efter fem veckors lagring. Leden som bladgödsades med Ca hade den lägsta titrerbara aciditeten efter lagring. Hanson (1995) fann ingen förbättring av bärfastheten efter upprepade bladgödslingar med kalcium (CaCl_2) under perioden mellan blomning och skörd. Koron *et al.* (2009) använde olika kalciumhaltiga bladgödslingsmedel i blomningen för *V. corymbosum* odlad på en kalciumfattig torvmark. De kom fram till att bladgödslingen hade mycket liten effekt på bärstorlek och fruktqualität i form av socker och syrahalter och ifrågasatte om behandlingen var ekonomiskt försvarbar.

Vid behov för Ca kan kalkstensmjöl (CaCO_3) eller dolomitkalk ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) tillföras om pH < 4,0 (Hart *et al.* 2006). Om pH är över 5,0 kan gips användas för att tillföra Ca om brist föreligger (Hart *et al.* 2006). Användning av gips (CaSO_4) gör att jordens kalciuminnehåll kan ändras med liten inverkan på pH när jordens pH ligger inom området 4,5–8 (Franzen *et al.* 2006). Gips som tillfördes under våren det första året efter nerklippning av *V. angustifolium* reducerade jordens pH, men påverkade varken tillväxten eller medelbärvikten (Sanderson *et al.* 1996). På tre av sex platser gav emellertid tillförseln av 4 ton gips/ha en medelskördeökning på 47% det första skördeåret.

5.7 Järn (Fe)

Järnbrist är vanligt vid höga pH

Blåbär uppvisar ofta symtom på järnbrist vid höga pH i jorden (Harmer 1944, Holmes 1960, Korcak 1988) och järnkloros kan förekomma redan vid pH över 5,2 (Eck 1988, Gough 1994). Holmes (1960) såg att järnkonzentrationen i unga blad hos *V. corymbosum* sjönk när pH i näringslösningen ökades från 4,0 till 5,0 eller högre. Förekomsten av kloros ökade med ökande pH och tillväxten hämmades från pH 6,0. Cain (1954) föreslog att det var järnets funktion i bladen som påverkades med kloros som följd eftersom järnkonzentrationerna inte var lägre i klorotiska än i normala blad.

Kalkskyende växter kan även utveckla kloroser när nitratkväve tillförs på grund av att pH-nivån i rotzonen och vävnaderna ökar (Cain 1952). Att använda försurande ammoniumkväve som kvävekälla reducerar alltså risken för järnbrist (Cain 1952, Korcak 1988, Gough 1994). Eftersom rötternas upptagning av ammonium ger försurning av rhizosfären och apoplasten ökar aktiviteten av enzymet järnchelatreduktas och därmed upptagningen av järn (Marschner 1995, Poonnachit & Darnell 2004). Motsatt ger upptagning av nitrat en ökad pH i rhizosfären, något som sänker aktivitet av järnchelatreduktas och växtens upptagning av järn (Marschner 1995, Poonnachit & Darnell 2004).

Höga halter av fosfor eller zink kan ge järnbrist

Järnupptaget kan även påverkas av höga halter av fosfor (Holmes 1960, Arnold & Thompson 1982, Braswell *et al.* 1997). När *V. corymbosum* cv. Rancocas odlades i näringslösning med konstant pH reducerades upptaget av Fe i de unga bladen när fosforkonzentration i lösningen ökade (Holmes 1960). Vid de högsta fosforkonzentrationerna observerades järnkloros i bladen. Holmes (1960) föreslog att P dels reducerade lösligheten av Fe i näringslösningen, dels förhindrade transporten av Fe till de unga bladen. Det har även föreslagits att Fe kan inaktiveras av ett överskott på P vid den övre pH-gränsen på 5,2 (Arnold & Thompson 1982).

Gupton & Spiers (1996) fann ett linjärt samband mellan en ökande zinkhalt i näringslösningen och förekomsten av bladkloros hos Southern highbush (Bladen) och *V. ashei* (Climax). Järnkonzentrationerna i bladen påverkades emellertid inte så zink stör sannolikt utnyttjandet av Fe i bladen, t.ex. i klorofyllsyntesen (Foy *et al.* 1978).

Genetiska skillnader finns i känslighet för järnkloros

Brown & Draper (1980) jämförde hur avkomman efter fyra korsningar mellan olika blåbärsarter responderade på pH-stress (pH i näringslösningen justerades till 6,6 med CaCO₃). De drog slutsatsen att blåbärsarter skiljer sig i tolerans för alkaliska förhållanden. Den toleranta ("Fe-effektiva") korsningen (*V. ashei* x (*V. darrowi* x *V. corymbosum*)) sänkte pH i näringslösningen genom att utsöndra vätejoner (H⁺) från rötterna, något som ökade växtens tillgång på järn. Rötterna hos den intoleranta ("Fe-ineffektiva") korsningen (*V. ashei* x *V. ashei*) frigjorde däremot inte H⁺. Den toleranta korsningen höll sig grön medan den intoleranta utvecklade bladkloros som symtom på järnbrist.

Kelaterande ämnen kan motverka järnkloros

När järnklorid (FeCl₃) byttes ut mot ett järnkelat (Fe-EDDHA) försvann symtomen på järnbrist vid neutralt pH (Cain 1954). Även Oertli (1963) såg att kloros vid pH 6,0 delvis förhindrades när järnet gavs i kelaterad form. Organiskt material som torv,

stallgödsel och kompost främjar tillgängligheten av Fe eftersom det innehåller organiska föreningar som kan bidra till att järnet hålls i växttillgängliga former (Shenker & Chen 2005).

5.8 Mangan (Mn)

Manganbrist är ovanligt

Blåbär har ett lågt behov av mangan (Mn) för normal tillväxt och rötterna kan ta upp tillräckligt med mangan även om halterna i marken är låga (Korcak 1988). Tillväxten hos blåbär är därför sannolikt inte begränsad av brist på mangan när blåbären odlas inom det normala pH-området, och troligen heller inte vid odling i mineraljordar med högre pH och lägre innehåll av organiskt material (Korcak 1988).

Risken för överskott på mangan beror på blåbärstyp och sort

De flesta ljungväxter ackumulerar mangan (Korcak 1988). Manganhalter i blad från *V. angustifolium* kan ligga i överkant av 2 000-4 000 mg/kg utan att toxicitetssymtom förekommer (Hall *et al.* 1964, Korcak 1988). Högväxande blåbär ackumulerar mindre Mn än lågväxande (Korcak 1989), och lägre mangankoncentrationer i bladen har rapporterats hos rabbiteye jämfört med högväxande blåbär (Clark *et al.* 1994). Symtom på mangantoxicitet har observerats på Southern highbush cv. O'Neal (Bañados *et al.* 2009). Mer än 450 mg/kg Mn i bladen kan ge risk för toxicitet (Hart *et al.* 2006, Bañados *et al.* 2009). Ett överskott på Mn kan även inducera järnbrist hos många grödor (Foy *et al.* 1978). Genotyper med tolerans för höga manganhalter kan vara att föredra vid odling i mineraljordar med höga halter av Mn och ett lågt innehåll av organiskt material eftersom det kan finnas risk för toxiska nivåer av växttillgängligt Mn (Korcak 1988).

I Chile har man haft problem med häxkvastliknande förgreningar och små, skrynkliga blad med rödaktiga bladkanter för Southern highbush-sorten O'Neal (Bañados *et al.* 2009). Bañados *et al.* (2009) visade att symtomen var korrelerade med manganhalten i marktäckningen som innehöll sågspån från tall. Eftersom bladens kalciumkoncentration sjönk vid höga manganhalter föreslog Bañados *et al.* (2009) att det var kalciumbrist, och inte mangantoxicitet i sig, som orsakades symtomen. Höga halter av Mn kan även öka nedbrytningen av växthormonet IAA och ge förlust av apikal dominans (Marschner 1995). Bañados *et al.* (2009) föreslog att organiska material för marktäckning bör undvikas om de innehåller mer än 350 mg Mn/kg.

Manganupptaget påverkas av pH och reducerande förhållanden i marken

Växters upptag av Mn ökar generellt vid lågt pH och avtar vid högre pH (Hall *et al.* 1964, Haynes & Swift 1985, Marschner 1995). Toxiska mangannivåer kan förekomma i jordar som är nära neutralitet, särskilt om de är syrefattiga eller vattensjuka (Korcak 1988). Vid odling av blåbär på mineraljordar i Arkansas rekommenderades pH-nivåer på 5,0–5,2 eftersom symtom på mangantoxicitet har observerats vid pH lägre än 5,0 (Moore 1993). Upptaget av Mn kan reduceras av ammonium, Ca och Mg och ökas av nitrat (Korcak 1988, 1989). Den reducerande effekten av ammonium på mangan-

upptaget kan vara en faktor att ta hänsyn till vid valet av kvävekälla för blåbär om risk finns för överskott på mangan (Korcak 1988).

5.9 Zink (Zn)

Risken för zinkbrist ökar vid pH > 6,0, låg temperatur i jorden samt höga mängder fosfor (Retamales & Hancock 2012). Höga bladkoncentrationer av Zn visade ett positivt samband med kloros (Spiers & Braswell 1989).

Bladgödning kan användas för att tillföra zink. Spiers & Braswell (1989) fann ett högre zinkupptag hos *V. ashei* i fält efter bladgödning med Zn jämfört med tillförsel av zinksulfat till jorden.

5.10 Koppar (Cu)

Brist på koppar är mycket ovanligt hos blåbär men kan förekomma på jordar med en hög halt av organiskt material (> 25%) (Hart *et al.* 2006, Retamales & Hancock 2012). Generellt kan kopparbrist även förekomma på grovkorniga jordar eller vid högt innehåll av kväve i jorden (Marschner 1995).

Smagula (2008) föreslog att rekommendationerna för Cu (7 mg/kg) och Fe (50 mg/kg) i bladen hos lågväxande blåbär (Trevett 1972) var för höga efter att ha bladgödlat bestånd med halter under den kritiska gränsen med Cu och/eller Fe utan att hitta några effekter på skottlängd, knoppbildning eller skörd.

5.11 Bor (B)

Borbrist förekommer oftast på grovkorniga jordar och risken för brist ökar vid torka och hög skörd (Retamales & Hancock 2012).

För högväxande blåbär anges ofta att borbrist kan förekomma vid bladkoncentrationer < 20 mg/kg (tabell 2). Tillförsel av B via jord eller blad påverkade emellertid varken tillväxt eller skörd av *V. corymbosum* cv. Bluecrop på en jord med låg halt av vattenlösligt B och en initial koncentration av B i bladen på 0,16 mg/kg torrviikt (Wojcik 2005). Enligt Wojcik (2005) var det kritiska värdet för B under 15 mg/kg för Bluecrop.

Ökning av bladkoncentrationen av B för *V. angustifolium* över den angivna bristgränsen på 24 mg/kg påverkade inte skörden (Smagula & Litten 2002). Smagula (2006) fann ingen effekt av att öka bladkoncentrationen över 24 mg/kg genom tillförsel av B till jord eller blad och föreslog att bristgränsen för B på 24 mg/kg för *V. angustifolium* är för hög. Vid bladgödning av olika kloner med 0, 200, 400 eller 600 mg B/kg gav 400 mg/kg högst skörd för tre av fem kloner när bladkoncentrationerna låg under 20 mg/kg (Smagula 2006). Chen *et al.* (1998) bladgödslade lågväxande blåbär

med bladkoncentrationer < 20 mg B/kg med B och/eller Ca på hösten innan skördeåret, men fann att tillförseln av B gav den mjukaste frukten.

Bladgödning med B reducerade både den totala fenolhalten och antioxidantaktiviteten i bären hos *V. corymbosum* cv. Bluecrop och Reka, sannolikt på grund av komplexbindning mellan B och polyfenoler (Eichholz *et al.* 2011). Det är känt att fenoler ackumuleras vid borbrist medan halterna av askorbat sjunker (Camacho-Cristobal *et al.* 2008). Borgödning kan alltså påverka halterna av vissa typer av antioxidanter i blåbär positivt medan innehållet av andra kan reduceras.

5.12 Molybden (Mo)

Det finns lite information om Mo i blåbärsodling. För undersökta populationer av lågväxande blåbär i Canada låg koncentrationerna av Mo generellt under den rapporterade bristgränsen (Sheppard 1991). Tillgängligheten av Mo avtar när pH sjunker och sulfat konkurrerar effektivt med molybdat i samband med upptagningen i roten (Marschner 1995). Tillförsel av både svavel och gips kan därför reducera växtens upptag av Mo.

5.13 Aluminium (Al)

Blåbär är känsliga för aluminiumtoxicitet

I sura jordar med pH < 5,5 är aluminiumtoxicitet en viktig begränsande faktor för odling av växter (Ryan & Delhaize 2010). *V. corymbosum* har visats vara känslig för aluminium (Korcak 1990, Yang *et al.* 1996). Från USA rapporterades att högväxande blåbär hämmades i tillväxten och dog efter 3–5 år när de odlades på lite tyngre mineraljordar med lågt pH och låg halt (2%) av organisk material (Korcak 1990). Detta förklarades med att rotsystemet skadades av aluminium och att upptaget av vatten och mineralnäring därmed hämmades (Korcak 1990). Reyes-Diaz *et al.* (2010) visade att lipidperoxideringen samt den fotokemiska funktionen i fotosystem II var de processer som främst påverkades av aluminium hos *V. corymbosum*. Skillnader finns emellertid mellan olika sorter av högväxande blåbär i Al-upptag och i känslighet för Al-toxicitet (Reyes-Diaz *et al.* 2010).

Om nitrat används som kvävekälla kan detta bidra till att öka aluminiumkoncentrationerna i rötterna till toxiska nivåer, medan ammonium motverkar detta (Peterson *et al.* 1988, Korcak 1988). Mer aluminium togs upp i både rötter och skott för plantor med mykorrhiza i försök i näringslösning (Yang *et al.* 1996, Yang & Goulart 1997). Författarna spekulerade i att aluminium först inkorporerades i svamphyferna i roten men sedan frigjordes, till exempel i samband med att svampstrukturerna bröts ner (Yang & Goulart 1997).

Inverkan av organiskt material

Genom komplexbindning med aluminiumjoner i marklösningen kan organiska syror motverka aluminiumtoxicitet (Hue *et al.* 1986). Korcak (1988) föreslog att tillsats av

organiskt material som t.ex. sågspån kunde motverka Al-toxicitet hos blåbär. Försök på att motverka tillväxthämningen hos blåbär i fält genom tillsats av torv fungerade emellertid inte eftersom den torv som användes innehöll höga halter av aluminium, både utbytbart och bundet i organiska och oorganiska former (Korcak 1990). Torven kan binda stora mängder aluminium (Wieder & Lang 1986), som kan frigöras i olika former i samband med torra perioder eller när torven bryts ner.

Gips kan motverka aluminiumtoxicitet

Korcak (1990) föreslog användning av gips (CaSO_4) för att motverka aluminiumtoxicitet hos blåbär eftersom gips inte påverkar eller svagt ökar pH. Gips verkar genom att utbytbart Al^{3+} ersätts av Ca^{2+} i alven och Al-hydroxyl-sulfatkomplexer som är mindre skadliga för växterna bildas (Merino-Gergichevich *et al.* 2010). Reyes-Diaz *et al.* (2011) visade att gips reducerade koncentrationen av Al i rötter och skott för olika sorter av *V. corymbosum*. Hur effektivt gipsbehandlingen kunde skydda mot Al-toxicitet skiljde sig emellertid mellan sorterna. Tillsats av gips bidrog till en fullständig återhämtning från Al-toxiciteten för Al-resistenta men inte för Al-känsliga sorter.

Kalkskyende växter är emellertid känsliga för höga halter av Ca (Korcak 1988). Korcak (1990) observerade negativa effekter av Ca på rotelongeringen och rekommenderade att eventuell användning av gips mot Al-toxicitet bör ske genom årlig tillförsel av låga nivåer framför enstaka höga givor.

5.14 Natrium (Na) och klor (Cl)

Blåbär har en hög saltkänslighet (Ingestad 1973). Reduktion av tillväxt och skörd vid användning av KCl som gödselmedel för blåbär rapporterades redan av Merrill (1944). Klor kan ge toxicitet hos högväxande blåbär vid koncentrationer i bladen över 0,5 mg/kg torrsvikt (Ballinger 1962, Korcak 1988). Blåbär är även mycket känsliga för natrium (Spiers 1983, Haby *et al.* 1986, Muralitharan *et al.* 1992, Wright *et al.* 1992). Haby *et al.* (1986) rapporterade toxicitet av Na i området 0,18–0,37 mg/kg bladtorrsvikt hos rabbiteye. En undersökning av ett antal kanadensiska populationer av *V. angustifolium* visade negativa samband mellan bladkoncentrationerna av Na och Cl och buskarnas höjd respektive stamsvikt (Sheppard 1991).

Rekommenderad kvalitet på bevattningsvattnet är $\text{pH} < 7,0$, total $\text{Na}^+ < 2,0$ mM (46 mg/L), total $\text{HCO}_3^- < 1,5$ mM (92 mg/L), total $\text{Cl}^- < 4,0$ mM (71 mg/L) (se Retamales & Hancock 2012). Vid ett ledningstal i bevattningsvattnet på 2,0 mS/cm observerades rotskador på *V. ashei* (Haby *et al.* 1986). Patten *et al.* (1989) föreslog ett tröskelvärde för markens ledningstal på 1,5 mS/cm för *V. ashei*. Ingestad (1973) drog slutsatsen att *V. myrtilus* var speciellt känslig för hög salthalt, men att ett ledningstal i området 0,35–0,7 mS/cm fungerade bra.

Symtomen på saltstress hos blåbär är bruna bladspetsar och bladkanter (Muralitharan *et al.* 1992, Gough 1994). Muralitharan *et al.* (1992) beskrev utvecklingen av en mörkbrun nekros på bladen mitt på skottet samt nekros i kanterna på de nedre bladen vid saltstress. Nekrosen ledde till att bladen torkade. Det förekom även kloros i bladspetsarna. Vid ökande salthalt uppstod symtom även på yngre blad, följd av

bladfall och nekros. Ehlig (1964) rapporterade att skada på grund av Cl^- hos hallon, björnbär och boysenbär karakteriserades av en mörkt brun kloros, först i äldre och sedan i yngre blad. Skada på grund av Cl^- förekom tidigare och var mer allvarlig än Na^+ -skada, som karakteriserades av en ljusare, gyllenbrun nekros. I en undersökning med rabbiteye var rottillväxten mer känslig för salthalten i bevattningsvattnet jämfört med andra tillväxtparametrar (Haby *et al.* 1986).

Muralitharan *et al.* (1992) undersökte vilka koncentrationer av Na och Cl i näringslösningen som gav symtom på saltstress hos *V. corymbosum* cv. Bluecrop. De observerade bladskador vid 20 mM Na_2SO_4 eller vid 40 mM NaCl (= 920 mg Na/L). Både Na^+ och Cl^- ackumulerades i bladen medan halten av K^+ sjönk. Allvarlig skada observerades vid 50 mM Na_2SO_4 eller vid 75 mM NaCl. Vid samma antal mol Na^+ var bladskadan mer allvarlig för NaCl än för Na_2SO_4 . Både Na^+ och Cl^- joner bidrog alltså till saltskadan. Wright *et al.* (1992) testade effekten av 25 mM och 100 mM av Na_2SO_4 eller NaCl på *V. ashei* cv. Tifblue och Brightwell. För båda Na_2SO_4 och NaCl observerades omfattande tillväxtreduktion och skada på skott och rötter vid 100 mM, medan 25 mM inte hade någon signifikant effekt.

Muralitharan *et al.* (1992) förklarade utvecklingen av bladnekros med en toxisk verkan av Cl^- och Na^+ i kombination med en stark reduktion av K^+ i bladen. Osmotisk stress antogs alltså inte vara det primära problemet. Även Ehlig (1964) drog slutsatsen att det var specifik skada på grund av ackumulering av Cl^- och Na^+ , och inte osmotisk stress, som var den viktigaste orsaken till att hallon, björnbär och boysenbär visade svag tolerans för NaCl.

Haby *et al.* (1986) fann ett nära samband mellan natriumhalterna i jorden och i bladen hos rabbiteye. Spiers (1983) föreslog att blåbär, på samma sätt som många salttoleranta växter, ackumulerar Na^+ när det finns höga halter av natrium i odlingsmediet. Anledningen är sannolikt att blåbär har en dålig förmåga att utesluta Na^+ och Cl^- , och jonerna ackumuleras därför i bladen istället för i stam och rötter (Muralitharan *et al.* 1992). Wright *et al.* (1995) föreslog att störningar i det sekundära budbärarsystemet, som gör att växten kan svara ändamålsenligt på stress, var orsaken till att blåbär inte kunde hålla koncentrationen av Na^+ i bladen på en låg nivå.

I flera försök har en skyddande effekt av låga koncentrationer av Ca mot saltstress rapporterats (Patten *et al.* 1989, Wright *et al.* 1992). Patten *et al.* (1989) såg att saltskada i fält reducerades av 1 och 3 mM Ca. Ingen skadlig effekt observerades vid användning av 100 g gips (CaSO_4) per planteringshål, motsvarande 10 kg/m³ substrat, eller med 10 mM (= 400 mg/L) Ca i försök i näringslösning (Patten *et al.* 1989). Med Na_2SO_4 som Na^+ -källa gav 1 mM Ca^{2+} ett bättre skydd mot saltskada än 10 mM Ca^{2+} (Wright *et al.* 1992, 1994). Den skyddande effekten av Ca^{2+} kan delvis bero på reducerad upptagning och/eller translokation av Na^+ i närvaro av Ca^{2+} (Wright *et al.* 1995). Kalcium påverkade emellertid inte den skadliga effekten när Na^+ tillsattes i form av NaCl. Wright *et al.* (1992) föreslog att Ca^{2+} varken kan begränsa upptagningen av eller motverka den skadliga effekten av Cl^- hos klorkänsliga arter.

Skillnader i känslighet för saltstress har påvisats mellan olika arter och sorter av blåbär. *Vaccinium angustifolium* cv. Top Hat var mindre känslig för Cl^- jämfört med *V. corymbosum* cv. Blueray (Korcak 1990). Southern highbush cv. Sharpblue ackumulerade mer Na^+ än Cl^- och hade mer utvecklad bladnekros samt snabbare reduktion i fotosyntes jämfört med rabbiteyesorterna Tifblue och Brightwell (Wright *et*

al. 1994). I en annan studie var rabbiteyesorterna Delite och Brightwell mer salttoleranta än Tifblue, Premier och Climax (Patten *et al.* 1989). Wright *et al.* (1992) rapporterade att även den skyddande effekten av Ca^{2+} mot Na^{+} -toxicitet skiljde sig mellan sorter. Brightwell och Sharpblue var sannolikt mer känsliga för mycket Ca^{2+} och/eller höga koncentrationer av Na_2SO_4 än Tifblue. Patten *et al.* (1989) rekommenderade odling av salttoleranta sorter vid problem med hög salthalt i bevattningsvattnet.

Risken för saltstress kan påverkas med hjälp av olika odlingsåtgärder. Patten *et al.* (1989) föreslog marktäckning och/eller bevattning med ett enskilt dropp vid buskens bas om man har problem med hög salthalt i bevattningsvattnet. Båda åtgärder reducerade ledningstalet (EC) i rotzonen jämfört med behandlingarna utan marktäckning eller där samma vattenmängd fördelades på flera dropp per planta.

6. ANALYSER OCH VÄXTNÄRINGSINNEHÅLL

6.1 Jordanalyser

Jordanalyser visar relativt svaga korrelationer med näringsinnehållet i fleråriga fruktgrödor (Childers 1983). Detta har även visats gälla för blåbär (Hanson 1987, Sheppard 1991). Hanson (1987) fann det bästa sambandet mellan jordanalyser och växtnäringshalter i marken för unga plantor och drog därför slutsatsen att jordanalyser är mest användbara för att justera markens näringsinnehåll före plantering eller under den tidiga etableringsperioden för blåbär.

6.2 Bladanalyser

Gough (1994) rekommenderar att provtagning av bladen görs efter fruktskörden när koncentrationerna av näringsämnen i bladen är relativt stabila. De yngsta, fullt utvecklade bladen tas från noderna 4, 5, 6 räknat från spetsen av frukt bärande skott. För varje prov tas delprov slumpmässigt från tio olika plantor (Gough 1994). För provtagning i Sverige rekommenderar Lund (1994) att minst 100 g fullt utvecklade blad tas ut från mitten av årsskottet under sista halvan av augusti.

6.3 Koncentrationer av växtnäringsämnen i bladen

Normala koncentrationer av olika mineralnäringsämnen i bladen hos högväxande blåbär visas i tabell 1. Kritiska nivåer för brist och överskott visas i tabell 2. Värdena bygger på amerikanska försök. Från Polen rapporterades följande optimala näringskoncentrationer i bladen efter skörd för sorten Bluecrop: 1,3–1,4% N; 0,44–0,50% K; 0,11% P och 0,11% Mg (Pliszka *et al.* 1993). Ljungväxter innehåller generellt låga halter av essentiella växtnäringsämnen jämfört med andra växtslag, möjligen med undantag av järn, koppar och svavel (Korcak 1988).

Genetiska och fysiologiska skillnader

Rapporterade näringskoncentrationer i bladen varierar mellan olika *Vaccinium*-arter (Clark *et al.* 1988, 1994, Korcak *et al.* 1982, Korcak 1988, Finn *et al.* 1993). Clark (1988) fann skillnader i bladkoncentrationerna av N, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu och B mellan rabbiteye och högväxande blåbär som odlades inom samma lokalitet i Arkansas. Ingen skillnad hittades för Zn. Tamada (1989) rapporterade högre halter av mineralnäringsämnen i bladen för highbush (Herbert) än för rabbiteye (Tifblue). När prov från *Vaccinium corymbosum*, *V. ashei* och Southern highbush samlades in från sju odlingar i södra USA under två år var halterna av de flesta mineralnäringsämnen (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu) likadana för högväxande och Southern highbush (Clark *et al.* 1994). Blad från rabbiteye hade generellt lägre koncentrationer av N, P, K, Ca, S,

Mn och Cu jämfört med högväxande och Southern highbush. En anledning till att halterna av mineralnäringsämnen i bladen var lägre hos buskar av rabbiteye-typ kan ha varit att dessa hade en större biomassa jämfört med de två andra blåbärstyperna (Clark *et al.* 1994). Koncentrationerna av både Mn och aluminium var mycket lägre för rabbiteye jämfört med högväxande sorter (Clark *et al.* 1994). Gupton & Spiers (1996) rapporterade lägre koncentrationer av Mn och Zn i bladen för rabbiteye-sorten Climax än för den högväxande sorten Bladen. I en undersökning med två sorter var av *V. corymbosum* och *V. ashei* på åtta mineraljordar fann Korcak (1992) att Mn-koncentrationen påverkades både av sort och jordtyp. Även här var koncentrationerna av N, P, Ca i bladen högre för *V. corymbosum* än för rabbiteye. Halterna av K och Mg och övriga mikronäringsämnen var emellertid ganska lika.

Tabell 1. Normala växtnäringskoncentrationer i bladen hos högväxande blåbär. Värdena anges i % av torrsvikt (makronäringsämnen) eller i mg per kg torrsvikt (mikronäringsämnen).

	Lund 1994	OMAFRA 2012	Gough 1994	Carroll <i>et al.</i> 2012
%				
N	1,7–2,0	1,7–2,3	1,80–2,10	1,70–2,10
P	0,1–0,2	0,15–0,40	0,12–0,40	0,10–0,40
K	0,6–1,0	0,36–0,7	0,35–0,65	0,40–0,65
Ca	0,2–0,3	0,3–0,8	0,40–0,80	0,30–0,80
Mg	0,2–0,3	0,12–0,3	0,12–0,25	0,15–0,30
S	–	–	0,12–0,20	0,12–0,20
mg/kg				
Mn	100	150–500	50–350	50–350
Fe	100	30–100	60–200	60–200
Zn	20	10–100	8–30	8–30
Cu	12	–	5–20	5–20
B	50	15–50	30–70	30–70

Att näringskoncentrationerna kan skilja sig mellan sorter är känd (Korcak 1988, Lareau 1989, Clark *et al.* 1994, Bañados *et al.* 2006b). Koncentrationerna av N, P och K var olika för sorterna Elliot, O'Neal, Bluejay, Birgitta (*V. corymbosum*) och Brightwell (*V. ashei*) (Bañados *et al.* 2006b). Clark *et al.* (1994) rapporterade skillnader mellan sorter både för rabbiteye, Southern highbush och högväxande blåbär. Smagula & Litten (2003) fann stor variation i koncentrationerna av de flesta näringsämnen mellan olika kloner av *V. angustifolium*.

Bañados *et al.* (2006b) visade även att näringskoncentrationerna skiljer sig mellan olika växtdelar. För 5-åriga plantor var koncentrationerna av N, P och K högst i blomknopparna och lägst i ved som var fyra år och äldre. För många näringsämnen sjunker halterna under odlings säsongen (t.ex. Retamales & Hancock 2012), men även skördenivån kan ha betydelse för koncentrationerna av N, K och Ca i blåbärsblad (Ballinger *et al.* 1963, Eck 1977, 1983). En hög skördenivå gör att N-koncentrationerna i bladen sjunker (Ballinger *et al.* 1963). Eck (1977) undersökte näringsinnehållet i försöksodlingar av *V. corymbosum* cv. Weymouth, Bluecrop och Coville i New Jersey. Svängningarna i halterna av kväve och Ca i bladen mellan olika år reflekterade en tvåårig variation i skördenivå. Under åren med högre skörd var bladens kvävehalt lägre jämfört med åren med lägre skörd. Bladens kalciumhalt låg under bristgränsen i åren med låg bärproduktion, men var tillräcklig under åren med hög produktion. Detta

förklarades med att den andra tillväxttoppen, som infaller efter skörden, är kraftigare under år med låg fruktproduktion. Därmed späds Ca ut av den större biomassan. När man använder bladanalys för att bedöma buskarnas näringsstatus behöver alltså det aktuella årets skördenivå beaktas.

Tabell 2. Kritiska växtnäringskoncentrationer i bladen hos högväxande blåbär. Värdena anges i % av torrsvikt (makronäringsämnen) eller i mg per kg torrsvikt (mikronäringsämnen).

	Brist		Överskott	
	Gough 1994	Carroll et al. 2012	Gough 1994	Carroll et al. 2012
%				
N	< 1,7	< 1,70	> 2,50	> 2,30
P	< 0,10	< 0,08	> 0,80	> 0,60
K	< 0,30	< 0,35	> 0,95	> 0,90
Ca	< 0,13	< 0,13	> 1,00	> 1,00
Mg	< 0,08	< 0,10	> 0,45	> 0,40
S	< 0,10	–	–	–
mg/kg				
Mn	< 23	< 25	> 450	> 450
Fe	< 60	< 60	> 400	> 400
Zn	< 8	< 8	> 80	> 80
Cu	< 5	< 5	> 100	–
B	< 20	< 20	> 200	> 200

Inverkan av yttre faktorer

Variationen i vad som anses som normala näringskoncentrationer inom samma art (tabell 1) kan även bero på yttre faktorer. Till exempel redovisar Retamales & Hancock (2012) olika normala värden för högväxande blåbär från olika geografiska områden i USA. Eftersom dessa värden har tagits fram i olika undersökningar kan skillnaderna mellan områden, förutom olikheter i jordtyp och klimat och sort, även ha påverkats av faktorer som årsmån och provtagningstidpunkt. Eck (1977) rapporterade en god överensstämmelse mellan kvävehalterna i *V. corymbosum* från New Jersey, Michigan och North Carolina och förklarade de skillnader som fanns med olika provtagningstider, sorter och jordtyper. Skillnader i rekommendationer från olika källor kan även bero på att olika analysmetoder har använts (Trevett 1972).

I undersökningar av prov från ett antal olika lokaliteter har *markens näringsinnehåll* visat ganska svaga samband med näringshalterna i bladen hos blåbär (Hanson 1987, Sheppard 1991). Analyser av 539 blad- och jordprov från kommersiella odlingar i Michigan indikerade att andra faktorer än näringsinnehållet i jorden var viktigare för näringsupptag och näringsstatus hos *V. corymbosum* (Hanson 1987). Halterna av K, Ca och Mg i marken visade emellertid ett bättre samband med näringshalterna i bladen för unga plantor (< 7 år) jämfört med äldre. När halterna av olika grundämnen i 64 prov från 80% naturliga och 20% extensivt odlade populationer av *V. angustifolium* i Ontario, Manitoba och Nova Scotia analyserades kunde kring hälften av variationen i bladkoncentrationer förklaras av skillnader mellan olika lokaliteter (Sheppard 1991). Sambanden mellan koncentrationerna i växten och de totala eller utbytbara halterna av mineralämnen i jorden var emellertid svaga. Slutsatsen var att innehållet av grundämnen i *V. angustifolium* var relativt homogent både över det aktuella geografiska området och mellan odlade och naturliga populationer.

Spiers & Braswell (1989) tillsatte elementärt svavel till en odling av *V. ashei* med pH 6,6 och låg halt av organiskt material i jorden. *Jordens pH* visade ett starkt signifikant, positivt linjärt förhållande med bladkoncentrationen av Ca och Mg, men var negativt korrelerad med P och Mn i bladen. Hall *et al.* (1964) rapporterade sjunkande halter av P, K och Mn med ökande pH för *V. angustifolium*. Halterna av Mg i bladen ökade med ökande pH medan Ca påverkades i liten grad.

Innehållet av ett mineralnäringsämne i växten kan även påverkas av *interaktioner med andra ämnen*. Till exempel visade Spiers & Braswell (1989) att halten av tillgängligt Ca i jorden gav reducerade halter av P och Fe i bladen. Bladkoncentrationerna av Ca, Zn och Mn var däremot positivt linjärt korrelerade med Ca i jorden. Halterna av Ca och Cu i bladen var negativt korrelerade med mängden tillgängligt K i jorden, men positivt korrelerade med jordens Zn-halt. Det fanns även en positiv effekt av Zn-halten i jorden på Zn i bladen (Spiers & Braswell 1989). I ett försök med gödsling av Southern highbush cv. Gulfcoast med 10 gånger normalgivan av olika mineralämnen inhiberade en hög kvävegiva upptaget av K och Mg medan hög fosforgiva inhiberade upptaget av Cu, Fe och Zn (Braswell *et al.* 1997). En hög kalciumgiva gav lägre halter av Mn och Zn i bladen medan en hög giva av Mg reducerade Zn-koncentrationen.

Tillsatser av *organiskt material* kan påverka koncentrationerna av växtnäringsämnena i bladen. Ochmian *et al.* (2009) jämförde högväxande blåbär cv. Sierra i substratfyllda rännor med torv, kakaoskal eller sågspån. Buskarna som var odlade i kakaoskal hade de högsta halterna av N, P, K och Mn i bladen medan växterna som odlats i sågspån hade de högsta koncentrationerna av Ca, Cu och Zn. De högsta halterna av S observerades när växterna odlades i torv. Substratens pH varierade emellertid mellan 3,8 för torven och 5,0 för kakaoskalen. Lareau (1989) fann inga signifikanta skillnader i halterna av mineralnäringsämnena i bladen för högväxande blåbär som odlades i mineraljord med inblandning av torv eller sågspån. Pliszka *et al.* (1993) visade att täckning av jorden med tallbark gav ökade bladkoncentrationer av K, Mg, Ca och Mn.

6.4 Symtom på mineralnäringsbrist

Symtom på näringsbrist för olika mineralnäringsämnena finns beskrivna i tabell 3. Enligt Gough (1994) är brist på N, Mg, Fe, K och B de vanligaste mineralnäringsbristerna för *V. corymbosum* i fält i USA. I kommersiella odlingar av högväxande blåbär i Michigan var normala halter av P, K, Mg och Ca i blåbärsblad mitt på sommaren 0,16%; 0,53%; 0,73% och 0,28% (Hanson 1987). För alla fyra ämnena låg koncentrationerna över den föreslagna bristgränsen. Äldre plantor hade generellt lägre halter av K i bladen än yngre plantor.

Med undantag av molybden låg koncentrationerna av essentiella mineralnäringsämnena generellt över publicerade bristgränser i naturliga och extensivt odlade populationer av lågväxande blåbär i Canada (Sheppard 1991). Detta tolkades som att brist inte var vanligt under naturliga förhållanden. Buskarnas höjd var emellertid positivt korrelerad både med jordens pH, som varierade inom området 3,47 till 5,59, och med koncentrationerna av Mg och Ca i bladen. Bärvikten var positivt

korrelerad med bladkoncentrationerna av Mg, Ca och K. Detta kan ha samband med att upptaget av K, Ca och Mg följer ökningen i växtens biomassa (Ågren & Weih 2012).

Tabell 3. Symtom på växtnäringsbrist hos blåbär (Kramer & Schrader 1942, Tamada 1989, Gouhg 1994, Retamales & Hancock 2012).

Ämne	Symtom på brist
N	Bladen blir jämnt bleka eller gula. Sedan blir de röda och dör eller faller av tidigare om hösten. De äldre bladen visar symtom först. Unga skott får först en rosaaktig färg och blir sedan blekt gröna. Hela plantans tillväxt reduceras.
P	Symtomen börjar som en svag purpurfärgning av blad och stammar. Bladen verkar matta i kontrast till de blanka bladen på friska plantor. Tillväxten hämmas.
S	Bladen blir jämnt ljusgröna och symtomen uppkommer först på yngre blad. Hämmad tillväxt. Liknar kvävebrist men bladen är blekare och blir svagt rosa vid framskriden brist.
K	Nekrotiska bladkanter och nekrotiska fläckar utvecklas först på äldre blad. Ibland utvecklas järnbristliknande kloros mellan nerverna på unga blad.
Ca	Nekrotiska bladkanter på äldre blad. Järnbristliknande kloros kan uppstå mellan nerverna på unga blad, men de gröna delarna av bladen är smalare än vid K-brist.
Mg	Bladkanterna blir klorotiska medan de mittersta nerver förblir gröna. Klorosen får efterhand en rödare färg, följd av nekros. Symtomen blir först synliga på äldre blad och dyker ofta upp i samband med att bären mognar.
Fe	Kloros mellan nerverna på unga blad. I allvarliga fall kan bladen få en citrongul eller rödbrun färg. Basala blad kan missbildas. Nya skott citrongula.
Mn	Döda fläckar nära bladkanterna eller spridda över bladytan. Unga blad kan vara klorotiska mellan nerverna. Reducerad bladstorlek.
Zn	Korta internoder och små blad är typiska symtom på Zn-brist. Jämn gulning av unga blad tidigt på säsongen. Påverkade blad viks ibland uppåt längs mittnerven.
Cu	Kloros mellan nerverna på unga blad och skottdöd i allvarigare fall.
B	Skottspetsarna verkar först blåaktiga, följd av klorotiska fläckar på de unga bladen direkt under skottspetsen. Vid fortsatt brist kan de unga bladen bli fläckiga och deformerade och skottspetsen dör.

7. JORDFÖRBÄTTRING OCH MARKTÄCKNING

Odling av blåbär i mineraljord innebär vanligen att någon typ av försurning krävs, men ofta även tillförsel av organiskt material (Gough 1994). Vid val av jordförbättringsmaterial är det viktigt att veta hur det påverkar pH i odlingsbädden. Jordförbättring kan även göras med syftet att framförallt öka mullhalten i jorden, eftersom blåbär särskilt vid etableringen föredrar jordar med högt organiskt innehåll (Williamson *et al.* 2006). Gröngödsling, stallgödsel, kompost är exempel på material som tillför organiskt material men som inte sänker pH i jorden (Williamson *et al.* 2006).

7.1 Ersättning av jorden med organiskt odlingssubstrat

Tillsättning av nytt odlingssubstrat till växtplatsen kan göras på flera sätt. Schmid *et al.* (2009) jämförde upphöjd bädd, grunt dike tillsammans med upphöjd bädd, samt djupa bäddar. I den upphöjda bädden placerades det nya substratet ovanpå befintlig mark. Den upphöjda bädden var 1–1,2 meter bred i botten och 0,4 meter hög. I det grunda diket placerades substratet i ett grunt dike som slutade i en lägre upphöjd bädd. Bäddens totalhöjd var 50 cm varav minst hälften var under markytan och bredd var 1,2 m i botten. De djupare bäddarna var en meter djupa med ett 20 cm gruslager i botten samt 60 cm breda. Schmid *et al.* (2009) konstaterade att odlingsystemen med grävda diken (både grunda och djupa) gav bäst skörd över en sexårsperiod och grunda diken motiverades som det bästa alternativet då etableringskostnaden för de djupare diken är betydligt högre.

7.2 Inblandning av organiskt material i jorden

Inblandning av organiskt material i jorden förbättrar lufttillgången och substratets vattenhållande förmåga och kan även ha en positiv effekt på tillväxt och skörd (Haynes & Swift 1986). I USA är den vanligaste jordförbättringsmetoden odling i bäddar med inblandning av sågspån (Hart *et al.* 2006). En nästan 10 cm tjock remsa av sågspån sprids ut på marken och arbetas ner i de översta 25 centimetrarna av jordlagret. Efter plantering tillsätts ytterligare ett 5 cm tjockt lager av sågspån (Hart *et al.* 2006). Sågspån bör vara från träslag som har naturligt lågt pH som t.ex. spån från barrträd (Hart *et al.* 2006).

Torv är ett naturligt odlingssubstrat för blåbär och flera försök har visat på ökad tillväxt när odlingsplatsen jordförbättrats med torv (t.ex. Tasa 2012). Torv i sig har en bra vattenhållande förmåga (McArthur 2001). McArthur (2001) undersökte skillnaderna i tillväxt för plantor som planterats direkt i mineraljord och plantor där 12 l torv tillsattes per planta vid plantering. Blomning, tillväxt och skörd var signifikant bättre när torv tillsattes än när plantorna odlades direkt i mineraljord. Tasa (2012) rapporterade fler skott, bättre tillväxt och högre bärvikt och skörd när hybridblåbär (Northblue, Aino, Alvar, Arne) odlades i torv än när de odlades i mineraljord.

Moore (1993) rapporterade att inblandning av fyra liter torv i jorden i planteringshållet gav en positiv tillväxtrespons etableringsåret. Inblandning av fyra liter komposterad sågspån (ospecificerad trädtypep) gav istället kvävebrist, sämre etablering och tillväxt samt minskad skörd det första skördeåret (Moore 1993). Lareau (1989) visade däremot att inblandning av sågspån i substratet gav bättre skörd än inblandning av torv. För *V. corymbosum* (Northland, Blue-ray, Berkeley och Rubel) var både skörden och bären störst när sågspån blandades i mineraljorden och kombinerades med antingen marktäckning med sågspån eller med droppbevattning tillsammans med tillförsel av svavel.

Schmid *et al.* (2009) testade flera olika substrat i en fyraårig studie av högväxande blåbär i krukor. Sågspån från tall gav bäst tillväxt efter torv. En blandning av sågspån och barkflis gav sämre tillväxt och odling i enbart barkflis gav sämst resultat. Framförallt var tillväxten i sågspånsbäddarna sämre än torvbäddarna de första tre åren, vilket ansågs bero på att mycket kväve går åt till nedbrytning av sågspånet. Sågspån från tre olika träslag jämfördes (bok, ek och tall) där ek och tall gav mest optimalt pH. Sågspån från tall sjönk ihop i mindre utsträckning än eksågspån och ansågs vara det bästa alternativet.

7.3 Marktäckning

Effekter av marktäckning

Marktäckning med organiskt material har vanligen en positiv effekt på tillväxt och skörd vid odling av både högväxande blåbär (Moore 1992, Eichholz *et al.* 2011) och hybridblåbär (Gustavsson 1999, Starast *et al.* 2002, Albert *et al.* 2010). Retamales och Hancock (2012) anger att effekten av marktäckningen påverkas av flera faktorer, som mängden som tillsätts, nedbrytningsgrad, C:N-kvoten, samt innehåll av eventuella toxiska substanser. Vanligt rekommenderat djup på marktäckningslagret är 10-20 cm och den årliga nedbrytningen (t.ex. tallbark 2,5 cm/år) bör kompenseras helst vartannat år (Retamales & Hancock 2012).

Marktäckning håller ogräs borta och tillför mer organiskt material till jorden efterhand som marktäckningen bryts ner (Moore 1993). Burkhard *et al.* (2010) visade att täckning med tallbarr (20 cm tjockt lager) reducerade ogräset och därmed konkurrensen på tillgängligt kväve. Samma studie visade att kompost på skaldjursavfall och sågspån blandat med stallgödsel gav en ogräshämning, men effekten var sämre då inflygande ogräsfrön grodde i marktäckningslagret.

Ytterligare en fördel är att ett marktäckningslager ofta hjälper till att behålla markfukten genom att förhindra en del av vattenavdunstningen och genom att sänka marktemperaturen (Moore 1993, Retamales & Hancock 2012). I försök från södra USA har den kylande effekten av marktäckningen på den grunda rotzonen angetts som en viktig orsak till de positiva skördeeffekterna av marktäckning (Moore 1993, Spiers 1995, 1998). Den reglerande effekten av marktäckningen på temperaturen kan minska risken för vinterskador på våren genom att försena knoppsprickningen, och kan även försena bladfall på hösten och ge plantan längre tid för att gå in i vintervila (Patten *et al.* 1989, Gough 1994).

Marktäckningen kan sänka pH i rotzonen beroende på vilken typ av material som har använts (Gustavsson 1999, Eichholz *et al.* 2011). I försök i Estland sjönk pH mest när torv användes för marktäckning (Albert *et al.* 2010). Gustavsson (1999) jämförde marktäckning med olika material för *Vaccinium vitis-idaea* odlat i sandiga mineraljordar. Växterna tilläggsgödslades varje år med ammoniumsulfat och pH sjönk i alla behandlingar. pH sjönk mest vid marktäckning med torv, tallbarr respektive sågspån men påverkades inte när tallbark användes för marktäckning. Ett marktäckningslager höll förutom en jämn markfukt även pH-värdet på en optimalt låg nivå, vilket gjorde att mängden ammoniumkväve ökade (Lareau 1989). Organiskt material kan bidra till att främja tillgängligheten av järn (Shenker & Chen 2005), och det finns även exempel på att marktäckning kan reducera saltstress (Patten *et al.* 1989).

Rottillväxten kan främjas av marktäckning (Spiers 2000). Inblandning av torv i jorden i kombination med marktäckning med torv gav störst rottillväxt för hybrid-sorten Northblue, men en stor del av rötterna stannade samtidigt i ytlagret (Albert *et al.* 2010). Även marktäckning med barkflis gav ett grundare rotsystem (Williamson *et al.* 2006). Eftersom mycket rötter bildas i lagret mellan marktäckningen och jorden är det viktigt att nytt marktäcknings-material tillförs efterhand som det gamla bryts ner (Moore 1993).

Det har visats att marktäckning kan reducera halterna av fenoliska ämnen och antioxidanter i bären. Vid marktäckning med tallbark sjönk både totalhalten av fenoliska ämnen och antioxidantaktiviteten i bär från *V. corymbosum* cv. Bluecrop och Reka (Eichholz *et al.* 2011). Halterna av Ca i bären var emellertid högst för buskarna med marktäckning.

Försök med olika marktäckningsmaterial

Schmid *et al.* (2009) visade på att ett odlingsystem på sågspånsbäddar som täcktes med ett lager barkflis från tall ökade tillväxten med 59% och skörden med 25%. Den ökade tillväxten och skördestorleken antogs framförallt bero på en jämnare vattentillgång och att en ökad nedbrytning av sågspånen under marktäckningslagret ökade tillgängligheten av näring.

Moore (1993) rapporterade att marktäckning med sågspån samt torvinblandning i jorden vid plantering i mineraljord gav vardera 2 000 kg mer bär per hektar, alltså en ökning på ca 4 000 kg totalt. I polska försök med högväxande blåbär (Bluecrop) har marktäckning med tallbark gett en ökad tillväxt och skörd samt bättre tillgänglighet och högre halter i frukterna av K, Mg, Ca och Mn (Scibisz *et al.* 1990, Pliszka *et al.* 1993). Kozinski (2006) fick flest och längst ettårsskott och högst skörd för Bluecrop i behandlingar där marktäckning med sågspån kombinerades med inblandning av sågspån i marken. Bark som marktäckning tillsammans med inblandning var också positivt, men hade inte lika stor effekt som sågspån.

Moore (1993) testade halm som marktäckning i jämförelse med sågspån. Halmen bröts ner snabbare än sågspånen och behövde därför fyllas på oftare, men bidrog samtidigt med organiskt material till jorden. Moore (1993) konstaterade också att användning av halm kan medföra en risk för ogräsproblem.

Svart plast som marktäckning kan underlätta etableringen av nya plantor och ge bättre resultat än bark och sågspån, men bör bytas ut efter etableringstiden till organiskt

material (Gough 1994). Retamales & Hancock (2012) anser också att plasttäckning är som mest fördelaktigt de första åren efter etablering då ogräskonkurrensen är som störst. Albert (2010) fann emellertid att plast som marktäckning reducerade skörden för hybridblåbärssorten Northblue.

Gödsling ovanpå en marktäckning kan leda till kväveförluster vilket behöver kompenseras med högre näringsgivor (Schmid *et al.* 2009), t.ex. rekommenderas att öka gödselgivan med 30% om färsk barkflis används som täckning.

8. PH-JUSTERING

Blåbär är surjordsväxter som utvecklas bäst i substrat och jordar med lägre pH (Korcak 1988). Horneck *et al.* (2004) rekommenderar att pH-värdet i jorden analyseras innan plantering och att en eventuell försurning av växtplatsen görs innan plantering. Författaren konstaterar vidare att jordens pH ändras under en odlingssäsong, framförallt av tillförsel av gödsel och ökad aktivitet av mikrolivet i jorden när jordtemperaturen ökar på våren. I jordar med lågt innehåll av organiskt material och lera ändras pH-nivån mest under säsongen.

8.1 Sänka pH med elementärt svavel

Ett sätt att försura markmiljön är att tillsätta svavel till jorden. Elementärt svavel bör användas i pulverform och bearbetas ner i jorden (Horneck *et al.* 2004). Försurning med hjälp av elementärt svavel bygger på att mikroorganismer i jorden omvandlar svavlet till sulfat. Processen bildar svavelsyra i markvätskan som i sin tur reagerar med kalciumkarbonat (kalk) och det bildas bland annat gips (Horneck *et al.* 2004). För att processen ska äga rum krävs varma och fuktiga förhållanden. Därför bör en försurning göras minst ett år innan plantering för att effekten ska hinna äga rum (Horneck *et al.* 2004). Hur mycket svavel som bör tillsättas varierar kraftigt med jordtyp och initialt pH. Framförallt så påverkar katjonbyteskapaciteten (CEC) hur mycket svavel som bör tillsättas (Retamales & Hancock 2012). CEC är ett mått på en jords kapacitet att binda katjoner (positivt laddade joner) till jordpartiklarnas negativt laddade ytor (Rowell 1994). CEC-värdet påverkas av pH-värdet i markvätskan och kan variera i samma jord om pH-värdet ändras (Borggard & Elberling, 2004). Ett högt CEC-värde innebär en större buffringsförmåga och bättre förmåga att neutralisera syror (Retamales & Hancock, 2012).

Exempel från Horneck *et al.* (2004) på mängden svavel som bör tillsättas beroende på jordtyp och CEC:

- Sandig jord med lågt innehåll av organiskt material och låga CEC-tal (under 14 meq/100 g) där pH-nivån ska sänkas från 6,5 till 4,8 bör svavelgivan ligga på 2 500 kg S/ha.
- Lerig jord med högt organiskt material och höga CEC-tal (> 25 meq/100 g) där pH-nivån ska sänkas från 6,5 till 4,8 bör svavelgivan ligga på 5 000–5 800 kg S/ha.

Mer än 3 300 kg S/ha bör inte tillsättas per gång då risken är att effekten blir för stor. Behövs mer svavel får givan delas upp och då bör man vänta 6 månader mellan gångerna för att utvärdera effekten (Horneck *et al.* 2004). Jorden bör hållas fuktig under den perioden för att få ut maximal effekt av svavlet. pH-sänkning med hjälp av elementärt svavel tillför samtidigt salter till jorden. Det kan innebära att saltinnehållet kan bli skadligt högt för blåbären (Horneck *et al.* 2004, Hart *et al.* 2006).

8.2 pH-sänkning med försurande gödselmedel

Inverkan av olika gödselmedel på markreaktionen visas i tabell 4. Gödselmedel med ammoniumkväve kan sänka pH-nivån i rotzonen eftersom roten utsöndrar vätejoner vid upptagningen av ammonium (Horneck *et al.* 2004). Starast *et al.* (2007) fann att den pH-sänkande effekten av försurande gödselmedel (NPK i form av ammoniumsulfat, superfosfat och kaliumsulfat) var större än vid tillförsel av endast elementärt svavel (1 000 kg S/ha). Den pH-sänkande effekten var särskilt effektiv på lättare jordar och författarna ansåg att försurande gödselmedel bör användas för att hålla pH-nivån låg under hela odlingens livslängd. McArthur (2001) anser att effekten av försurande gödselmedel är begränsad och de bör därför inte användas som enda pH-regleringsmetod när pH-nivån ska sänkas mer än 0,3 enheter.

Tabell 4. *Inverkan av gödselmedel på markreaktionen (från Gough 1994).*

Försurande	Alkaliniserande	Neutrala
ammoniumnitrat	fiskavfall	kalciomsulfat (gips)
monoammoniumfosfat	kalciumnitrat	kaliumklorid
diammoniumfosfat	kaliumnitrat	kaliumsulfat
ammoniumsulfat	natriumnitrat	superfosfat
fosforsyra	benmjöl	kalium-magnesiumsulfat
urea	stallgödsel, torkad	monokaliumfosfat
blodmjöl	råfosfat	

8.3 Bevattning och pH

Blåbär trivs bäst när de vattnas med vatten med lågt saltinnehåll och låg alkalinitet (Retamales & Hancock 2012). Därför är regnvatten och ytvatten med låg alkalinitet att föredra framför grundvatten i de flesta fall. Vid hög alkalinitet (och därmed hög buffringsförmåga) kan syra (t.ex. salpetersyra eller fosforsyra) tillsättas till vattnet för att inte pH-nivån i jorden ska öka. Om endast vatten med hög alkalinitet finns att tillgå kan en pH-ökning kompenseras med årlig tillsättning av elementärt svavel (30 g S/planta) (Schmid *et al.* 2009).

Williamson *et al.* (2006) beskriver att en vanlig åtgärd för att sänka bevattningstvattnets pH i amerikanska odlingar är att tillföra fosfor- eller svavelsyra. Svavelsyra i bevattningstvattnet sänker effektivt pH-nivån i jorden och 1,6 L svavelsyra motsvarar 1 kg elementärt svavel (Retamales & Hancock 2012). Användningen av koncentrerade syror begränsas av att de är mycket farliga att hantera.

9. GÖDSLING

9.1 Förhållandet mellan olika växtnäringsämnen i växten

Ingestad (1973) angav de optimala näringsproportionerna för *V. myrtillus* och *V. vitis-idaea* till 100:13:50:7:8,5 för N, P, K, Ca och Mg. Bryla *et al.* (2012) beräknade växtnäringsbehovet från plantering av 2-åriga plantor av *V. corymbosum* på våren fram till den första skörden nästa odlingsssäsong. För plantor som tillförts 50 kg N per ha vid etablering var behovet av näringsämnen 34,8 kg/ha N; 2,3 kg/ha P; 12,5 kg/ha K; 8,4 kg/ha Ca; 3,8 kg/ha Mg; 5,9 kg/ha S; 295 g/ha Fe; 40 g/ha B; 23 g/ha Cu; 1273 g/ha Mn; 65 g/ha Zn. Detta ger förhållandet 100:6,5:36:24:11 mellan N, P, K, Ca och Mg. Anledningen till de stora skillnaderna i kalciumbehov är sannolikt att plantorna i fältförsöket har lyxkonsumerat kalcium. Sammantaget visar de två försöken att fram till första skörden ligger mängden kalium som behöver tas upp av plantan kring hälften av den upptagna kvävemängden, medan fosforbehovet ligger kring 10% av kvävebehovet. Retamales och Hancock (2012) estimerade växtnäringsbehovet för ett moget fält av *V. corymbosum* och kom fram till proportionerna 100:9:76:7:4 för N:P:K:Ca:Mg. I denna beräkningen för fullt skördande buskar var alltså kaliumbehovet större.

9.2 Tillförsel av kväve, fosfor och kalium

En sammanställning på rekommenderade givor av N, P och K från litteraturen syns i tabell 5. Någon typ av grundgödsling med kväve rekommenderas ofta. Williamson *et al.* (2006) rekommenderar att en jordanalys tas innan plantering för att analysera det initiala innehållet av näringsämnen på odlingsplatsen.

Bañados *et al.* (2006a) visade att unga plantor är känsligare för låga och höga kvävegivor, där plantor som inte fått kväve alls och plantor som fått 55,8 g N/planta (motsvarar 150 kg N/ha) hade försämrade tillväxt. Störst tillväxt syntes i ledet som fått 18,6 g N/planta (motsvarar 50 kg N/ha). Försöket utfördes i sågspånsbäddar med tvååriga plantor och 66 kg N/ha hade tillförts innan plantering. Eck (1977) fann ingen skördeökning vid tillförsel av 68 kg N/ha i förhållande till 34 kg N/ha för högväxande blåbär odlat på en sandjord med 6% organiskt material.

För att optimera kvävegivan kan kväveinnehållet i bladen analyseras. Vid bladanalys efter provtagning i augusti bör kvävevärdet ligga på 1,7–2% (Hanson & Hancock 1996). Koncentrationen av kväve i bladen är lägre på blad från äldre buskar än yngre. Därför bör högre optimumvärde än det som rekommenderas anses som optimalt de två första åren efter plantering (Bryla *et al.* 2012).

Bryla *et al.* (2012) undersökte bortförsel och upptag av både makro- och mikronäringsämnen under de första två åren efter etablering. De fann att bortförseln vid bladfall, beskärning och skörd var 4,85; 0,28; 2,38; 0,82; 0,25; 0,54 g/planta av respektive N; P; K; Ca; Mg; S. Detta motsvarar omvandlat till kg per hektar 13 kg N/ha; 0,8 kg P/ha; 6,4 kg K/ha; 2,2 kg Ca/ha; 0,7 kg Mg/ha; 1,5 kg S/ha. Samma studie

bestämde totalupptaget (bortförsel + innehåll i plantan) under två år (knoppsprickning år 1 till skörd år 2) till 34,8 kg N/ha; 2,3 kg P/ha; 12,5 kg K/ha; 8,4 kg Ca/ha; 3,8 kg Mg/ha och 5,9 kg S/ha. Medan upptaget av de flesta näringsämnen ökade under hela odlings säsongen togs mest K, Mg, Mn och Zn upp sent på säsongen (Bryla *et al.* 2012). För dessa ämnen kan därför applicering tidigt eller mitt på sommaren vara att föredra.

Retamales & Hancock (2012) anger bortförsel av N, P och K genom skörd (10 ton/ha) och beskärning till 13 kg N/ha, 1,2 kg P/ha och 10 kg K/ha. De räknar om detta till rekommenderade gödselgivor på 30–60 kg N/ha, 4,4–11 kg P/ha och 29–67 kg K/ha, där den lägre givan är till näringsrika jordar.

Tabell 5. Exempel på rekommenderade givor av kväve, fosfor och kalium i litteraturen. Kvävegivorna är uppdelade efter odlingsystem utan (N) eller med (N+JF) jordförbättring med sågspån. Givorna motsvarar antal g/planta (År 1) eller antal kg/ha (År 2-8).

	År 1 g/planta Plantering	År 2 kg/ha	År 3 kg/ha Skörd 1	År 4 kg/ha	År 5 kg/ha	År 6 kg/ha	År 7 kg/ha	År 8 kg/ha
N	5,6 ^{4,12}	17 ^{2,10} 15 ¹¹ 21 ¹²	22 ¹⁰ 35 ¹²	33 ² 28 ¹⁰ 30 ¹¹ 57 ¹²	39 ¹⁰ 71 ¹²	50 ^{2,10,11} 78 ¹²	62 ¹¹ 99 ¹²	73 ^{2,10} 70 ¹¹ 30-60 ⁸ 90 ⁹ ; 113 ¹² 36-41 ¹³
N+JF	17 ¹	55 ¹ 50 ³	64 ¹	70 ¹	111 ¹	139 ¹ 125 ⁴	161 ¹	
P	5,6 ⁴							0-20; 20-30 ¹ 2,2-3 ⁵ 14-27 ⁶ 4,4-11 ⁸ 35-50 ¹¹
K	5,6 ⁴							0-70; 70-93 ¹ 40 ⁷ 29-67 ⁸ 25-50 ¹¹

- Hart *et al.* (2006); givan är placerad till varje planta med 2 777 plantor per hektar. Odling i bädd av sågspån och med ett lager av sågspån som marktäckning. 100 kg kväve/hektar har tillsatts innan plantering. Fosfor- och kaliumgödslingen baseras på bladanalyser.
- Hanson & Hancock (1996).
- Bañados *et al.* (2012); givan är placerad till varje planta. Odlingssystemet är i sågspånbäddar med 2 777 plantor per hektar. 66 kg kväve/ha tillfördes innan plantering.
- Gough (1994) rekommenderar delade givor med första givon ett par veckor efter plantering och andra i juni-juli.
- Alt *et al.* (1989) anger blåbärs P-behov till 5–7 kg P₂O₅ per ha per år.
- Krewer & Nesmith (1999) anger 31-60 pounds per acre.
- Eck (1983).
- Retamales & Hancock (2012); givan är beräknat efter kompensering för näringsbortfall genom beskärning och skörd. Den högre givan är för magrare jordar och den lägre för näringsrikare jordar.
- Pritts & Hancock (1992) rekommenderar en delad giva med hälften vid knoppsprickning och resten 6 veckor senare. Gäller för högväxande blåbär i nordöstra USA.
- Carroll *et al.* (2012).
- Sven Ramborg pers. medd. Givorna rekommenderas till torvfyllda diken
- Strik *et al.* (2007); räknat på 2 500 plantor/ha.
- Naumann & Krüger (1985); N-behov beräknat vid 1.5 m plantavstånd, 3.0 m radavstånd.

I Tyskland visade försök i en kommersiell blåbärsodling att det årliga kvävebehovet för högväxande blåbär i åldern för optimal fruktsättning var 36-41 kg N/ha (Naumann & Krüger 1985). Bäst skörd uppnåddes vid 30 kg N/ha medan högre givor (60-120 kg N/ha) reducerade skörden.

Willamson *et al.* (2006) anger att en vanlig rekommendation är en veckovis tillförsel via näringsbevattning med 1,3–1,7 kg N per hektar till nyplanteringar, 2,2–2,7 kg N/ha till tvåårig odling (året efter plantering), 3,4–3,6 kg N/ha till treårig odling och 4,5–5,6 kg N/ha till odlingar som är fyra år och äldre. Samma författare rekommenderar en tillförsel av K och P som motsvarar halva kvävegivan under tillväxt och under kartmognad ökas kaliumgivan till samma mängd som kvävegivan.

Det finns även rekommendationer som utgår ifrån vanligt förekommande gödselmedel, i detta fall NPK 10-10-10 där en årsgiva på 672 kg NPK per ha anses vara en normal giva till blåbär Willamson *et al.* (2006). Det ger en årlig tillförsel på 67 kg N, P och K per hektar. Den här typen av gödselmedel ger onödigt höga fosforgivor (Alt *et al.* 1989, Scibisz *et al.* 1990, Pliszka *et al.* 1993, Smolarz & Mercik 1993).

För höga kvävegivor ger skador under etableringsåren

Under de första åren efter planteringen har det visat sig att höga kvävegivor gett försämrade tillväxt (Bañados *et al.* 2006a, 2012). I försök med odling i sågspånsbäddar gav 50 kg kväve per hektar bättre tillväxt än ogödslad, 100 kg N/ha och 150 kg N/ha (2 777 plantor/ha) de första två åren efter plantering (Bañados *et al.* 2012). Kvävet tillfördes då i form av ammoniumsulfat. De högre givorna reducerade plantans torrviikt och resulterade i 17–55% döda plantor, sannolikt som ett resultat av ammoniumtoxicitet eller saltstress. Bryla *et al.* (2010) gödslade ett nyetablerat fält (*V. corymbosum* cv. Bluecrop) med 0, 50, 100 och 150 kg N/ha i form av urea eller ammoniumsulfat. Urea tillfördes i droppbevattningen, antingen uppdelade i tre givor under april–juni eller kontinuerligt från bladsprickning till två månader innan bladfall. Ammoniumsulfat tillfördes i tre givor som granulerad gödsel. Kvävetillförsel med granulat gav både en högre nitratkoncentration i marken och ett högre ledningstal i marklösningen ($EC > 2$ mS/cm) jämfört med näringsbevattning ($EC < 1,5$ mS/cm). pH-nivån i rotzonen sjönk med ökande kvävetillförsel. Plantor som fick den högsta givan av ammoniumsulfat (150 kg/ha) fick symptom på saltstress genom nekrotiska bladkanter redan under den första sommaren efter plantering och 44–50% av plantorna i behandlingen dog. Inga plantor visade tecken på saltstress vid kontinuerlig näringsbevattning med urea.

För höga kvävemängder kan även reducera fruktproduktionen, försena mognad, skada tillväxten och öka risken för vinterskador (Gough 1994, Bañados *et al.* 2012). Tillförsel av kväve sent på säsongen (efter juli) kan leda till sen mineralisering och tillväxt sent ut på hösten vilket kan ge försämrade vinterhärdighet (Hanson & Hancock 1996).

För att minska risken för skador bör den totala kvävegivan delas upp i flera givor (Hanson & Retamales 1992, Bañados *et al.* 2006a). Hanson & Retamales (1992) visade i en femårig studie att delad giva med urea vid knoppsprickning (35kg N/ha) och i slutet på blomningen (35kg N/ha) gav bättre skörd och tillväxt än en enkel giva vid knoppsprickning (70kg N/ha). Effekten av delad giva mot enkel giva bör enligt författarna vara ännu bättre vid odling på genomsläpplig jord med låg katjonbyteskapacitet där näringsläckage är vanligt (Hanson & Retamales 1992).

I USA och Canada rekommenderas ofta en tredelad kvävegiva där första givan ges vid knoppsprickning, den nästa när kronbladen faller och den sista i juni-juli (Hanson & Hancock 1996, OMAFRA 2012).

Kvävegivans storlek påverkas av tillförsel av organiskt material

Kvävebehovet varierar kraftigt beroende på odlingssystem och jordtyp. Generellt bör blåbär kvävegödsas sparsamt, men vid odling i bäddar med t.ex. sågspån kan rekommenderad kvävegiva för en fullt producerande odling vara så hög som 160 kg kväve/ha (Hanson 2006, Hart *et al.* 2006). Odlingssystem med bäddar av sågspån eller barkflis behöver nästan dubbla mängden kväve, eftersom de flesta jordförbättringsmaterial binder kväve i samband med nedbrytningen (Hanson & Hancock 1996). Hur mycket kväve som materialet binder beror på förhållandet mellan kol och kväve. När C:N-kvoten är över 30 konsumeras kvävet som mineraliseras vid nedbrytningen av det organiska materialet av mikroorganismer (Borggård & Elberling 2004). Endast när kvoten är lägre blir kvävet som mineraliseras från nedbrytningen växttillgängligt (Borggård & Elberling 2004). Yang *et al.* (2002) visade att blåbär odlade i komposterad sågspån (C:N 59:1) hade sämre kväveupptag än plantor i förna ("forest litter") från ekskog (C:N 19:1). Den sämre tillväxten tillskrevs den högre C:N-kvoten i sågspånet som resulterade i mindre växttillgängligt kväve. Författarna drog slutsatsen att extra kväve bör tillföras när jordförbättringsmaterial med ett C:N-förhållande över 30 används. Exempel på C:N-förhållande för de vanligaste jordförbättringsmaterialen: komposterad stallgödsel 24:1, halm (havre) 20:1, sågspån 300:1, torv 58:1, färskt gräsclipp 20:1, torra löv 40:1, kompost 15:1 (Gough 1994). Exempel på rekommenderade kvävegivor som bör tillsättas vid utformningen av bäddar med sågspån är 66 kg kväve/ha (Bañados *et al.* 2012) och 100 kg kväve/ha (Hart *et al.* 2006). Genom att använda komposterad barkflis och sågspån minskas kvävebehovet eftersom nedbrytningen redan är påbörjad (Williamson *et al.* 2006).

Tillförsel av organiskt material binder momentant upp kväve, men samtidigt sker en årlig mineralisering av ammoniumkväve. Retamales & Hancock (2012) anger att 1–10% av det organiska materialet mineraliseras årligen. Det kan innebära att 30–120 kg kväve per hektar och år kan mineraliseras i blåbärsodlingar där mängden organiskt material i jorden är högt.

Kväveeffektivitet

Andelen kväve som plantorna tagit upp i förhållande till hur mycket kväve som har tillförts samma säsong har generellt visats sig vara ganska låg. Treåriga plantor tog upp en större andel av tillfört kväve (6–9%) när 2 g ammoniumsulfat per planta tillfördes i slutet av maj, juni eller juli, jämfört med ett kväveutnyttjande på 1–3% när gödseln tillfördes i april, augusti eller september (Throop & Hanson 1997). Bañados *et al.* (2006a) visade att 22–43% av tillfört kväve tagits upp under en säsong av plantor som nått full skörd. Nyetablerade plantor tog endast upp 17% och 10% när 50 kg respektive 100 kg kväve per hektar tillfördes. En liknande studie på tvååriga plantor visade samma tendenser med ett effektivt upptag på 17%, 10% och 3% av tillförd mängd kväve för 50, 100 respektive 150 kg N/ha (Bañados *et al.* 2012). Bañados *et al.* (2006a) rapporterade ett högre kväveutnyttjande vid en högre planttäthet, och drog slutsatsen att gödselgivan inte bör ökas proportionerligt med planttätheten.

Val av kvävegödselmedel

Valet av kvävegödselmedel grundas på kunskapen bakom blåbärsplantans kväueupptag vilket innebär att rekommenderade gödselmedel oftast innehåller ammoniumkväve och inte verkar pH-höjande (Gough 1994, Retamales & Hancock 2012). Ammoniumsulfat, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, är ett vanligt gödselmedel i konventionell blåbärsodling och sänker pH-nivån i jorden, men bör inte vara den enda kvävekällan om markens pH-värde är under 5 (Hart *et al.* 2006). En blandning med till exempel urea kan då vara ett lämpligare alternativ (Gough 1994, Hart *et al.* 2006). Även gödselmedel som används vid näringsbevattning bör tillföras med huvuddelen ammoniumkväve, t.ex. i form av ammoniumnitrat eller ammoniumsulfat (Bryla & Machado 2011, Finn & Warmund 1997). Nöturin och blodmjöl är exempel på två organiska gödselmedel som är försurande medan övrig stallgödsel och benmjöl har kalkverkan (Jordbruksverket 2012b).

I organiska gödselmedel är en del av kvävet bundet i organiska former som behöver brytas ner innan kvävet blir tillgängligt för växterna (Steineck *et al.* 1991). Nöturin innehåller 70–100% ammoniumkväve och har därmed en snabb effekt (Steineck *et al.* 1991). Eftersom kvävet är lättillgängligt bör givan delas för att undvika skador på rötterna. Det samma gäller för fjäderfägödsel som innehåller både träck och urinsyra. Gough (1994) avråder från att använda okomposterad fjäderfägödsel eftersom den innehåller höga kvävegivor som kan skada blåbärens rötter. Stallgödsel innehåller dessutom både natrium och klor och kan öka upptagningen av dessa ämnen i växten (Magnusson 2000).

Strik *et al.* (2012) jämförde två olika organiska gödselmedel; mjöl från slaktrester av fjäderfä och flytande fiskavfall, och två olika kvävegivor (29 och 57 kg N/ha). Gödsling med fiskrestavfallet gav högre biomassa och tillväxten var störst vid den lägre kvävegivan. Den sämre effekten av fjäderfägödslet tillskrevs till viss del att kvävet inte hunnit bli tillgängligt för plantan på grund av för sen gödslingstidpunkt och för lite regn.

Hur snabbt ett gödselmedel blir tillgängligt beror inte bara på kväveformen utan också på gödselmedlets struktur. Ett flytande gödselmedel kommer snabbare ner i marken och blir därmed snabbare tillgängligt för rötterna jämfört med ett granulerat gödselmedel (Bañados *et al.* 2012).

Genom tillförsel av näring via droppbevattningen istället för tre givor med granulerat gödselmedel på jorden undveks höga ledningstal i jorden (Bryla & Machado 2011). Finn & Warmund (1997) gjorde en liknande jämförande studie med kvävegödsling via droppbevattning och delade givor av ammoniumsulfat ovanpå bädden. Näringsbevattning gav bättre tillväxt under etableringsåret. Det förklarades med att mer av det kvävet som tillfördes via droppbevattningen hamnade i rotzonen och att en del av ammoniumsulfatet immobiliserades i marktäckningslagret av sågspån.

10. DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Krav på jord/odlingssubstrat

En av de största utmaningarna vid odling av trädgårdsblåbär är att anpassa jorden efter kulturens behov. Betydelsen av en hög mullhalt vid odling av trädgårdsblåbär framhålls ofta (Coville 1910, Eck & Childers 1966, Gough 1994). Skall man odla blåbär på mineraljord med låg mullhalt behövs inblandning av organiskt material före, eller i samband med, plantering. Det organiska materialet ger jorden en bättre förmåga att hålla luft och vatten och kan skydda mot aluminiumtoxicitet, något som kan vara ett problem inom det låga pH-området som blåbär föredrar (Merrill 1944, Korcak 1990). Organiskt material kan även skydda mot järnbrist (Schenker & Chen 2005). Inblandning av torv samt sågspån och bark från barrträd kan bidra till att sänka pH i odlingssubstratet. Vid inblandning av färskt sågspån rapporteras ibland tillväxtreduktion de första åren efter plantering (Moore 1993, Schmid *et al.* 2009). Ofta rekommenderas därför användning av komposterad eller rötad sågspån för att reducera immobiliseringen av kväve i samband med att det organiska materialet bryts ner (Schmid *et al.* 2009).

Även marktäckning med organiskt material har många positiva effekter och rekommenderas i blåbärsodling (kap. 7.3). Mer kunskap behövs om hur marktäckning och andra odlingsåtgärder påverkar förekomsten av bioaktiva ämnen och antioxidantaktiviteten i bären hos trädgårdsblåbär.

Det rekommenderade pH-området för odling av blåbär varierar något men ligger vanligen inom området 4,0 till 5,2 (kap. 4). Optimalt pH har uppgets ligga mellan 4,5 och 4,8 (Harmer 1944) medan en nedre pH-gräns för blåbärsodling har angetts kring pH 3,4-3,8 (Merrill 1944, Korcak 1988). En anledning till att pH-rekommendationerna kan skilja sig mellan olika undersökningar kan vara att tillgängligheten av mineralämnen skiljer sig mellan olika jordar. Till exempel rekommenderades ett pH mellan pH 5,0 och 5,2 för blåbärsodling i Arkansas eftersom mangantoxicitet kunde vara ett problem vid lägre pH (Moore 1993). I ett av de försök som ligger till grund för dagens pH-rekommendationer noterades att pH-området för fruktproduktion låg lite högre än pH-området för optimal tillväxt (Harmer 1944). Ett större underlag från andra typer av jordar behövs innan man kan säga att detta gäller generellt.

När mineraljordar med högt pH skall användas för blåbärsodling rekommenderas vanligen en pH-sänkning till 4,5 med elementärt svavel innan odlingen etableras (Gough 1994, Schmid *et al.* 2009). Om pH ligger under 4,0 rekommenderas att kalksten eller dolomit tillförs.

I en mineraljord finns blåbärsrötterna gärna koncentrerade i eventuella lager med organiskt material (Moore 1993, Spiers 2000, Albert *et al.* 2010). Bättre rotutveckling och mykorrhizabildning har observerats på skogsjord jämfört med åkerjord (Bläsing 1998).

Blåbär och andra ljungväxter lever i symbios med ericoida mykorrhizasvampar i naturen. I kommersiell odling har förekomsten av mykorrhiza ibland visats vara lägre än i naturliga blåbärsbestånd (Scagel & Yang 2005, Scagel *et al.* 2005; Stevens *et al.* 1997). Ympning har testats, men har gett varierande resultat (Smagula & Litten 1989, Scagel 2005). Effekten beror på kombinationen av blåbärssort och svampisolat och

påverkas även av gödselbehandlingen (Scagel 2005). I vissa fall har man sett ett negativt samband mellan markens kvävehalt eller kvävetillförsel med mykorrhizakoloniseringen i rötterna (Scagel & Yang 2005).

pH och mikronäringsämnen

Ökande pH sänker växtens upptagning av de flesta mikronäringsämnen (Marschner 1995). För blåbär verkar järnbrist vara den främste anledningen till problem med för högt pH (Cain 1954, Korcak 1988). Vid för högt pH uppstår lätt kalkinducerad kloros på unga blad eftersom mängden järn som är tillgängligt för processer som tex klorofyllproduktionen i bladen reduceras (Holmes 1960). Tillförsel av mycket kalcium och fosfor kan förstärka järnbristen (Holmes 1960). Om man odlar blåbär vid den övre pH-gränsen bör järn tillföras i kelaterad form (Holmes 1960). Även tillförsel av organiskt material och kväve i ammoniumform motverkar järnbrist (Cain 1952, Korcak 1988).

I en jämförande studie har *V. corymbosum* visats ha ett lägre järnupptag och en begränsad förmåga att assimilera järn i förhållande till *V. arboreum*, som är anpassad för att växa på jordar med ett högre pH (Darnell & Cruz-Huerta 2011). Det har därför föreslagits att en sämre järnförsörjningsförmåga har bidragit till att begränsa utbredningen av högväxande blåbär till jordar med ett lågt pH (Darnell & Cruz-Huerta 2011).

Medan brist på järn och ibland även mangan verkar begränsa blåbärs möjligheter att växa vid högt pH kan för höga halter av mangan eller aluminium begränsa tillväxten och ge skador på rot eller skott om pH sjunker under 3.8 (Merrill 1944, Korcak 1988). Vid vilket pH det finns risk för Al-toxicitet hos blåbär varierar mellan olika jordar (Korcak 1990, Moore 1993). Toleransen för höga halter av mangan och aluminium skiljer sig mellan olika genotyper, något som bidrar till skillnader i pH-optimum mellan olika blåbärssorter (Korcak 1988, Finn *et al* 1991, Reyes-Diaz *et al* 2010). Tillförsel av kalcium i form av gips (CaSO_4) kan skydda mot aluminiumtoxicitet (Korcak 1990).

I motsatts till övriga mikronäringsämnen är tillgängligheten av molybden (Mo) störst vid ett högt pH (Marschner 1995). Det finns lite information om innehållet av molybden i odlade blåbär. I en stor undersökning av näringsstatus hos naturliga eller extensivt odlade bestånd av *V. angustifolium* konstanterade Sheppard (1991) att molybden var det enda ämnet som låg under den definierade bristgränsen. Mer kunskap behövs om molybdenstatus vid odling av trädgårdsblåbär.

Kväveform

Ett antal försök visar att ammonium eller en blandning av ammonium och nitrat fungerar bättre än nitrat som kvävekälla för blåbär (kap 5.1). Att nitrat ibland ger sämre effekt än ammonium eller en blandning av båda kan ha olika orsaker:

- pH i rotzonen ökar som resultat av rotens nitratupptag, något som kan leda till bladkloros på grund av järnbrist.
- Upptagningen av nitrat i roten är långsammare än upptaget av ammonium.
- Assimileringen av nitrat i växten är långsammare än assimileringen av ammonium.
- Den medföljande katjonen (t.ex. Na, Ca, K) i nitratgödselmedlet reducerar tillväxten i höga koncentrationer.

Att blåbärarter kan ta upp och assimilera både ammonium, nitrat och aminosyror har visats i studier av kvävetillgång och kväveupptagning under naturliga förhållanden (Näsholm *et al.* 1998, Persson *et al.* 2003). Ingestad (1973) konkluderade med att både nitrat och ammonium fungerade bra som kvävekälla för *V. myrtillus* så länge givan inte blev för hög. Blåbär har emellertid dels en lägre upptagningsförmåga för nitrat jämfört med ammonium (Ingestad 1973, Merhaut & Darnell 1995), och dels låga halter av enzymet nitrat reduktas som behövs för att växten skall kunna bygga in nitrat i organiska ämnen (Claussen & Lenz 1999, Poonnachit & Darnell 2004). Att den lägre tillväxten med nitrat som kvävekälla kan hänga ihop med en sämre förmåga att assimilera nitrat underbyggs indirekt av jämförande studier mellan arterna *V. corymbosum* och *V. arboreum* (Darnell & Hiss 2006, Darnell & Cruz-Herta 2011). Den senare växer ofta på mineraljordar med lite högre pH och har både en högre upptagning av nitrat och en bättre förmåga att assimilera nitrat jämfört med *V. corymbosum* (Darnell & Hiss 2006, Darnell & Cruz-Herta 2011). *V. arboreum* har även en högre kvävehalt i bladen och en starkare tillväxt jämfört med *V. corymbosum*.

Inverkan av kvävekällan på pH i rotzonen är en faktor som är viktigt att ta med i beräkningen vid valet av kvävegödselmedel eftersom pH påverkar tillgängligheten av många mineralnäringsämnen. Medan roten utsöndrar vätejoner och därmed sänker pH i rotzonen när växten tar upp ammonium, ökar pH i rotzonen efterhand som roten tar upp nitrat (t.ex. Merhaut & Darnell 1996). Tidiga studier visade att tillförsel av nitrat kunde leda till järnkloros på grund av ökad pH i rotzon och vävnader (Cain 1952).

Höga halter av Na, Ca, Mg eller K kan bidra till skadliga effekter när nitratsalter används som gödselmedel (Cain 1952, Ingestad 1973, 1976). Jämförelse av olika nitratsalter har visat att natriumnitrat har en mer skadlig effekt än Ca, K eller Mg-nitrat (Ingestad 1973).

Kvävegivor och gödslingstidpunkt

Rekommenderade kvävegivor varierar mycket i litteraturen (se tabell 5). Storleken på kvävegivan bör framförallt anpassas till ålder och odlingssystem (t.ex. Hart *et al.* 2006). Unga plantor är mycket känsliga för höga kvävegivor, vilket kan leda till saltstress och döda plantor (Bryla *et al.* 2010, Bañados *et al.* 2012).

Jordförbättring med organiskt material påverkar den rekommenderade kvävegivan eftersom kväve konsumeras i nedbrytningsprocessen. Hur mycket kväve som försvinner beror på förhållandet mellan kol och kväve i materialet. Sågspån som är ett vanligt jordförbättringsmaterial kan ha ett C:N-förhållande på 300:1 (Gough 1994). Detta kan relateras till att man redan vid ett C:N förhållande över 30:1 räknar med att kväve konsumeras i nedbrytningsprocessen (Borggård & Elberling 2004). Rekommenderade kvävegivor från USA är ofta högre (fördubblade) eftersom odlingen ofta sker i sågspånsbäddar (Hanson & Hancock 1996). Uppbindningen av kväve genom immobilisering är förbigående eftersom nedbrytningen av det organiska materialet med tiden kan göra att kvävet igen mineraliseras (Retamales & Hancock, 2012).

Kväveupptagningsfönstret hos blåbär är väldokumenterat och bör ligga till grund för gödslingstidpunkterna under säsongen. Upptaget sker framförallt från sen blomning till fruktmodnad (Throop & Hanson 1997). Tillförsel sent på hösten kan ge försämrad vinterhärdighet, något som bör tas i beaktning (Hanson & Hancock 1996). Delade givor rekommenderas för att undvika för höga ledningstal i marken (Bañados *et al.* 2006).

Blåbär har en begränsad förmåga att transportera näring och vatten horisontellt (Gough 1984, Valenzuela-Estrada *et al.* 2009). Gough (1984) visade att näring tillförd till ena sidan främst bidrog till näringstillförsel för den sidan. Det är därför viktigt att sprida gödseln i en ring kring busken eller jämnt i raderna och undvika punkt gödsling.

Övriga näringsämnen bör tillföras vid behov

Kalium är viktigt för fruktskörden och kan behöva tillföras, särskilt om man odlar i ett rent organiskt substrat. Eftersom K konkurrerar med Mg och Ca vid upptagning och användning i växten bör för höga K-halter i bladen undvikas. Från USA har brist på K och Mg rapporterats bland de vanligaste näringsbristerna i blåbärsodling (Gough 1994).

Blåbär och andra surjordsväxter ackumulerar kalcium (Korcak 1988) och det finns indikationer på att Ca kan vara skadligt för blåbär i för höga koncentrationer (Ingestad 1973, 1976). Man bör därför vara försiktig med att tillföra för mycket kalcium. Bedömningen av växtens kalcium- och kaliumstatus behöver även sättas i relation till fruktproduktionen eftersom halterna av båda Ca och K i bladen påverkas av frukt mängden (Eck 1977, Ballinger *et al.* 1963). I en del försök har tillförsel av kalcium till jord eller blad gett en positiv effekt på bärens fasthet och lagringsförmåga medan man i andra fall inte har fått någon effekt på bärkvaliteten (se kap. 5.6). Det behövs bättre dokumentation av positiva effekter innan bladgödsling med kalciumhaltiga medel kan rekommendera som en generell åtgärd för trädgårdsblåbär.

Blåbär är känsliga för höga salthalter och både natrium och klor ackumuleras i skottet och har en direkt toxisk verkan (kap. 5.14). Gödselmedel som innehåller mycket Na och Cl bör därför undvikas.

Blåbär har ett lågt behov av fosfor, och i många fosforgödslingsförsök har respons på tillförd fosfor har uteblivit (kap. 5.4). Fosforbrist kan förekomma på vissa jordar. Om man misstänker att det kan finnas risk för brist bör växternas fosforstatus kontrolleras genom bladanalys. En eventuell fosforgödsling bör göras med försiktighet för att undvika förluster (Eaton *et al.* 1997). Höga fosforhalter kan dessutom ge problem med upptagning och utnyttjande av järn och zink (t.ex. Retamales & Hancock 2012). Vid odling i ett rent organiskt substrat som har låg förmåga att binda fosfor, som bark, sågspån eller torv, kan fosfor behöva tillföras.

Jordanalys bör göras innan etablering för att planera näringstillförsel och eventuell pH-justering inför en ny kultur. För att följa näringsstatus i en etablerad blåbärskultur rekommenderas bladanalyser eftersom sambandet är svagt mellan jordanalyser och näringskoncentrationerna i bladen (Hanson 1987, Sheppard 1991). Generellt bör näringsämnen, förutom kväve, tillföras efter att risk för brist har påvisats genom bladanalys. Ett stort dataunderlag finns tillgängligt för tolkning av bladanalyser (se t.ex. tabell 1-2). Tolkningen påverkas emellertid av blåbärsart, sort och skördemängd, samt av jordens pH och näringsstatus (kap. 6.3). Det är därför bra att skaffa sig ett dataunderlag rörande näringsstatus och skördenivåer för sin egen odling för att över tid få erfarenhet av vad som fungerar under de aktuella jord- och klimatförhållanden.

11. REFERENSER

- Abbott JD, Gough RE 1987 Seasonal development of highbush blueberry roots under sawdust mulch. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 112, 60-62.
- Albert T, Karp K, Starast M, Paal T 2010 The effect of mulching and pruning on the vegetative growth and yield of the half-high blueberry. *Agronomy Research* 8, 759-769.
- Aldén B, Ryman S 2009 *Våra kulturväxters namn, ursprung och användning*. Stockholm: Formas Förlag.
- Alt D, Langenkamp C, Trautmann M 1989 Phosphorus nutrition of cultivated blueberries. *Erwerbsobstbau* 31, 189-195.
- Angeletti P, Castagnasso H, Miceli E, Terminiello L, Concellón A, Chaves A, Vicente AR 2010 Effect of preharvest calcium applications on postharvest quality, softening and cell wall degradation of two blueberry (*Vaccinium corymbosum*) varieties. *Postharvest Biology and Technology* 58, 98-103.
- Arnold JT & Thompson LF 1982 Chlorosis in blueberries: A soil-plant investigation. *Journal of Plant Nutrition* 5, 747-753.
- Bailey JS, Smith CT, Weatherby RT 1949 The nutritional status of the cultivated blueberry as revealed by leaf analysis. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 54, 205-208.
- Bajwa R, Abuarghub S, Read DJ 1985 The biology of mycorrhiza in the Ericaceae. X. The utilization of proteins and the production of proteolytic enzymes by the mycorrhizal endophyte and by mycorrhizal plants. *New Phytologist* 101, 469-486.
- Bajwa R, Read DJ 1986 Utilization of mineral and amino N sources by the ericoid mycorrhizal endophyte *Hymenoscyphus ericae* and by mycorrhizal and non-mycorrhizal seedlings of *Vaccinium*. *Transactions of the British Mycological Society* 87, 269-277.
- Ballinger WE 1962 Studies of sulfate and chloride ion effects upon Wolcott blueberry growth and composition. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 80, 331-339.
- Ballinger WE, Kushman LJ, Brooks JF 1963 Influence of crop lead and nitrogen applications upon yield and fruit qualities of Wolcott blueberries. *Proceedings of the American Society of Horticultural Science* 82, 264-275.
- Bañados P, Strik B, Righetti T 2006a The uptake and use of ¹⁵N-nitrogen in young and mature field-grown highbush blueberries. *Acta Horticulturae* 715, 357-364.
- Bañados P, Bonomelli C, Gonzalez J, Jiullerat F 2006b Dry matter, nitrogen, potassium and phosphorus partitioning in blueberry plants during winter. *Acta Horticulturae* 715, 443-448.
- Bañados MP, Ibáñez F, Toso AM 2009 Manganese toxicity induces abnormal shoot growth in O'Neal blueberry. *Acta Horticulturae* 810, 509-512.
- Bañados MP, Strik BC, Bryla DR, Righetti TL 2012 Response of highbush blueberry to nitrogen fertilizer during field establishment, I: Accumulation and allocation of fertilizer and biomass. *HortScience* 47, 648-655.

- Beccaro GL, Cavanna M, Mellano, MG, Bounous G 2009 Preliminary results of leaf and soil fertilizer applications on highbush blueberry Lateblue to improve fruit quality. *Acta Horticulturae* 810, 685-687.
- Bläsing D 1985 Performance of highbush blueberries as influenced by soil physical properties. *Acta Horticulturae* 165, 215-226.
- Bläsing D 1989 Performance of highbush blueberries on sites previously used for agricultural crops. *Acta Horticulturae* 241, 213-220.
- Borggard OK, Elberling B 2004 Pedological Biochemistry – Part 2. University of Copenhagen, Denmark, 114-115.
- Bornsek SM, Zibera L, Polak T, Vanzo A, Ulrich NP, Abram V, Tramer F, Passamonti S 2012 Bilberry and blueberry anthocyanins act as powerful intracellular antioxidants in mammalian cells. *Food Chemistry* 134, 1878-1884.
- Boyer EP, Ballington JR, Mainland CM 1982 Endomycorrhizae of *Vaccinium corymbosum* L. in North Carolina. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 107, 751-754.
- Braswell JH, Spiers JM, Matta FB 1997 Influence of N, P, K, Ca and Mg rates on leaf elemental concentration and plant growth of Gulfcoast blueberry. *Acta Horticulturae* 446, 363-368.
- Britto DT, Kronzucker HJ 2002 NH_4^+ toxicity in higher plants: A critical review. *Journal of Plant Physiology* 159, 567-584.
- Brown JC, Draper AD 1980 Differential response of blueberry (*Vaccinium*) progenies to pH and subsequent use of iron. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 105, 20-24.
- Bryla DR, Shireman AD, Machado RMA 2010 Effects of method and level of nitrogen fertilizer application on soil pH, electrical conductivity, and availability of ammonium and nitrate in blueberry. *Acta Horticulturae* 868, 95-102.
- Bryla DR, Machado RMA 2011 Comparative effects of nitrogen fertigation and granular fertilizer application on growth and availability of soil nitrogen during establishment of highbush blueberry. *Frontiers in plant science* 2, 1-7.
- Bryla DR, Strik BC, Bañados MP, Righetti TL 2012 Response of highbush blueberry to nitrogen fertilizer during field establishment, II: Plant nutrient requirements in relation to nitrogen fertilizer supply. *HortScience* 47, 917-926.
- Burkhard N, Lynch D, Percival D 2010 Effects of pine-needle and compost mulches and weeds on nitrogen dynamics in an organically-managed highbush blueberry field. *Acta Horticulturae* 873, 253-260.
- Cain JC 1952 A comparison of ammonium and nitrate nitrogen for blueberries. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 59, 161-166.
- Cain JC 1954 Blueberry chlorosis in relation to leaf pH and mineral composition. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 64, 61-70.
- Camacho-Cristobal JJ, Rexach J, Gonzalez-Fontes, A 2008 Boron in plants: Deficiency and toxicity. *Journal of Integrative Plant Biology* 50, 1247-1255.
- Carroll J, Pritts M, Heidenreich C 2012 Production Guide for Organic Blueberries. Tillgänglig: http://nysipm.cornell.edu/organic_guide/blueberry.pdf [2013-03-13]

- Chen Y, Smagula JM, Litten W, Dunham S 1998 Effect of boron and calcium foliar sprays on pollen germination and development, fruit set, seed development, and berry yield and quality in lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.). *Journal of American Society for Horticultural Science* 123, 524-531.
- Childers NF 1983 *Modern fruit science: Orchard and small fruit culture*. Gainesville, Florida: Horticultural Publications.
- Clark JR 1988 Comparison of elemental content of leaves from highbush and rabbiteye blueberries. *Arkansas Farm Research* 37, 12.
- Clark JR, Creech D, Austin ME, Ferree MEB, Lyrene P, Mainland M, Makus D, Neuendorff L, Patten K, Spiers J 1994 Foliar elemental analysis of southern highbush, rabbiteye, and highbush blueberries in the southern United States. *HortTechnology* 4, 351-355.
- Claussen W, Lenz F 1999 Effect of ammonium or nitrate nutrition on net photosynthesis, growth, and activity of the enzymes nitrate reductase and glutamine synthetase in blueberry, raspberry and strawberry. *Plant and Soil* 208, 95-102.
- Coville 1910 *Experiments in blueberry culture*. United States Department of Agriculture. Washington: Government Printing Office.
- Czesnik E, Eynard I 1989 Mycorrhizal infection level in five cultivars of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 29, 67-71.
- Darnell RL, Cruz-Huerta N 2011 Uptake and assimilation of nitrate and iron in cultivated and wild *Vaccinium* species. *International Journal of Fruit Science* 11, 136-150.
- Darnell RL, Hiss SA 2006 Uptake and assimilation of nitrate and iron in two *Vaccinium* species as affected by external nitrate concentration. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 131, 5-10.
- Dirr MA 1974 Nitrogen form and growth and nitrate reductase activity of the cranberry. *HortScience* 9, 347-348.
- Eaton LJ, Stratto GW, Sanderson KR 1997 Fertilizer phosphorus in lowbush blueberries: Effects and fate. *Acta Horticulturae* 446, 477-486.
- Eaton LJ och Patriquin DG 1988 Inorganic nitrogen levels and nitrification potential in lowbush blueberry soils. *Canadian Journal of Soil Science* 68, 63-75.
- Eck P 1966 Botany. In Eck P och Childers NF (eds.) *Blueberry culture*. New Brunswick: Rutgers University Press.
- Eck P 1977 Nitrogen requirement of the highbush blueberry, *Vaccinium corymbosum* L. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 102, 816-818.
- Eck P 1983 Optimum potassium nutritional level for production of highbush blueberry. *Journal of American Society for Horticultural Science* 108, 520-522.
- Eck P 1988 *Blueberry science*. New Brunswick: Rutgers University Press.
- Ehlig CF 1964 Salt tolerance of raspberry, boysenberry and blackberry. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 85, 318-324.
- Eichholz I, Huyskens-Keil S, Kroh LW, Rohn S 2011 Phenolic compounds, pectin and antioxidant activity in blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) influenced by boron and mulch cover. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 84, 26-32.
- Eissenstat DM 1992 Costs and benefits of constructing roots of small diameter. *Journal of Plant Nutrition* 15, 763-782.

- Ekelund L & Öhman-Nilsson A 2010 Marknadsmöjligheter för odlade svenska blåbär. LTJ-fakultetens faktablad 2010:16.
- Finn CE, Luby JJ, Rosen CJ, Ascher PD 1991 Evaluation in vitro of blueberry germplasm for higher pH tolerance. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116, 312-316.
- Finn CE, Rosen CJ, Luby JJ, Ascher PD 1993 Blueberry germplasm screening at several soil pH regimes. II. Plant nutrient composition. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 118, 383-387.
- Finn CE, Warmund MR 1997 Fertigation vs. Surface application of nitrogen during blueberry plant establishment. *Acta Horticulturae* 446, 397-401.
- Foy CD, Chaney RL, White MC 1978 The physiology of metal toxicity in plants. *Annual Review of Plant Physiology* 29, 511-566.
- Franzen D, Rehm G, Gerwing J 2006 Effectiveness of gypsum in the North-central region of the U. S. Extension Service. North Dakota State University.
- Garnett T, Conn V, Plett D, Conn S, Zanghellini J, Mackenzie N, Enju A, Francis K, Holtham L, Roessner U, Boughton B, Bacic A, Shirley N, Rafalski A, Dhugga K, Tester M, Kaiser BN 2013 The response of the maize nitrate transport system to nitrogen demand and supply across the lifecycle. *New Phytologist*, 1-13.
- Gorman NR & Starrett MC 2003 Host range of a select isolate of the ericoid mycorrhizal fungus *Hymenoscyphus ericae*. *HortScience* 38, 1163-1166.
- Gough RE 1980 Root distribution of Coville and Lateblue highbush blueberry under sawdust mulch. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 105, 576-578.
- Gough RE 1984 Split-root fertilizer application to highbush blueberry plants. *HortScience* 19, 415-416.
- Gough RE 1994 The highbush blueberry and its management. New York: Food Products Press.
- Gupton CL, Spiers JM 1996 High zinc concentrations in the growing medium contribute to chlorosis in blueberry. *HortScience* 31, 955-956.
- Gustavsson B A 1999 Effects of mulching on fruit yield, accumulated plant growth and fungal attack in cultivated lingonberry, cv. Sanna, *Vaccinium vitis-idaea* L. *Gartenbauwissenschaft* 64, 65-69.
- Haby VA, Patten KD, Cawthon DL, Krejsa BB, Neuendorff EW, Davis JV, Peters SC 1986 Response of container-grown rabbiteye blueberry plants to irrigation water quality and soil type. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 111, 332-337.
- Hall IV, Aalders LE, Townsend LR 1964 The effects of soil pH on the mineral composition and growth of the lowbush blueberry. *Canadian Journal of Plant Sciences* 44, 433-438.
- Hanson EJ 1987 Integrating soil tests and tissue analysis to manage the nutrition of highbush blueberries. *Journal of Plant Nutrition* 10, 1419-1427.
- Hanson EJ 1995 Preharvest calcium sprays do not improve highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) quality. *HortScience* 30, 977-978.
- Hanson EJ 2006 Nitrogen fertilization of highbush blueberry. *Acta Horticulturae* 715, 347-351.
- Hanson EJ, Berkheimer SF 2004 Effect of soil calcium applications on blueberry yield and quality. *Small Fruits Review* 3, 133-139.

- Hanson E, Hancock J 1996 Managing the nutrition of highbush blueberries. MSU Extension bulletin E-2011.
- Hanson EJ, Retamales JB 1992 Effect of nitrogen source and timing on highbush blueberry performance. *HortScience* 27, 1265-1267.
- Hanson EJ, Throop PA, Serce S, Ravenscroft J, Paul EA 2002 Comparison of nitrification rates in blueberry and forest soils. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127, 136-142.
- Harmer PM 1944 Effect of reaction of organic soil on blueberries. *Soil Science Society Proceedings* 9, 133-141.
- Hart J, Strik B, White L, Yang W 2006 Nutrient management for blueberries in Oregon. Nutrient management guide EM 8918. Oregon State University – Extension Service. Tillgänglig: <http://extension.oregonstate.edu/catalog/pdf/em/em8918.pdf> [2013-03-13]
- Haynes RJ, Swift RS 1985 Effects of soil acidification on the chemical extractability of Fe, Mn, Zn and Cu and the growth and micronutrient uptake of highbush blueberry plants. *Plant and Soil* 84, 201-212.
- Haynes RJ, Swift RS 1986 Effects of soil amendments and sawdust mulching on growth, yield and leaf nutrient content of highbush blueberry plants. *Scientia Horticulturae* 29, 229-238.
- Holmes RS 1960 Effect of phosphorus and pH on iron chlorosis of the blueberry in water culture. *Soil Science* 90, 374-379.
- Horneck D, Hart J, Stevens R, Petrie S, Altland J 2004 *Acidifying soil for crop production west of the cascade mountains*. OSU Extension publication EM 8857-E. Tillgänglig: <http://extension.oregonstate.edu/catalog/pdf/em/em8857-e.pdf> [2013-03-13]
- Howell AB 2009 Update on health benefits of cranberry and blueberry. *Acta Horticulturae* 810, 779-784.
- Hue NV, Craddock GR, Adams F 1986 Effect of organic acids on aluminium toxicity in subsoils. *Soil Society of America Journal* 50, 28-34.
- Håkansson T, Winter C, Caspersen S 2013 Trädgårdsblåbär – växtnäringsbehov och gödning. LTJ-Fakultetens faktablad 2013:7.
- Ingstad T 1973 Mineral nutrient requirements of *Vaccinium vitis idaea* and *V. myrtillus*. *Physiologia Plantarum* 29, 239-246.
- Ingstad T 1976 Nitrogen and cation nutrition of three ecologically different plant species. *Physiologia Plantarum* 38, 29-34.
- Ishida TA, Nordin A 2010 No evidence that nitrogen enrichment affect fungal communities of *Vaccinium* roots in two contrasting boreal forest types. *Soil Biology and Biochemistry* 42, 234-243.
- Jeliazkova EA, Percival DC 2003 N and P fertilizers, some growth variables and mycorrhizae in wild blueberry (*Vaccinium angustifolium*). *Acta Horticulturae* 626, 297-304.
- Johansson M 2000 The influence of ammonium nitrate on the root growth and ericoid mycorrhizal colonization of *Calluna vulgaris* (L.) Hull from a Danish heathland. *Oecologia* 123, 418-424.
- Jones DL, Kielland K 2012 Amino acid, peptide and protein mineralization dynamics in a taiga forest soil. *Soil Biology and Biochemistry* 55, 60-69.

- Jordbruksverket 2012a Trädgårdsproduktion 2011 – reviderad version. Statistiska Meddelanden JO 33 SM 1201, korrigerad version 12-09-03.
- Jordbruksverket 2012b Riktlinjer för gödsling och kalkning 2013. Jordbruksinformation 12-2012.
- Kasurinen A, Holopainen T 2001 Mycorrhizal colonisation of highbush blueberry and its native relatives in central Finland. *Agricultural and Food Science in Finland* 10, 113-119.
- Kielland K, McFarland J, Olson K 2006 Amino acid uptake in deciduous and coniferous taiga ecosystems. *Plant Soil* 288, 297-307.
- Korcak RF, Galletta GJ, Draper A 1982 Response of blueberry seedlings to a range of soil types. *Journal of American Society for Horticultural Science* 107, 1153-1160.
- Korcak RF 1988 Nutrition of blueberry and other calcifuges. *Horticultural Reviews* 10, 183-227.
- Korcak RF 1989 Variation in nutrient requirements of blueberries and other calcifuges. *HortScience* 25, 573-578.
- Korcak RF 1990 Calcium protection against aluminium toxicity. *In* Beusichem MLV (ed) *Plant nutrition - physiology and applications. Developments in Plant and Soil Sciences* 41, 409-412.
- Korcak RF 1992 Blueberry species and cultivar response to soil types. *Journal of Small Fruit and Viticulture* 1, 11-24.
- Koron D, Gogala N 2000 The use of mycorrhizal fungi in the growing of blueberry plants (*Vaccinium corymbosum* L.). *Acta Horticulturae* 525, 101-105.
- Koron D, Sturm K, Pavlin S 2009 Effects of Ca foliar fertilizers on fruit quality of highbush blueberry. *Acta Horticulturae* 810, 705-708.
- Kozinski B 2006 Influence of mulching and nitrogen fertilization rate on growth and yield of highbush blueberry. *Acta Horticulturae* 715, 231-235.
- Kramer A, Schrader AL 1942 Effect of nutrients, media, and growth substances on the growth of the Cabot variety of *Vaccinium corymbosum*. *Journal of Agricultural Research* 65, 313-328.
- Krewer G & NeSmith DS 1999 Blueberry fertilization in soil. University of Georgia Extension Fruit Publication 01-1. Tillgänglig: <http://ucanr.org/sites/nm/files/76767.pdf> [2013-03-13]
- Lareau MJ 1989 Growth and productivity of highbush blueberries as affected by soil amendments, nitrogen fertilization and irrigation. *Acta Horticulturae* 241, 126-131.
- Lafond J, Ziadi N 2011 Nitrogen and phosphorus fertilization in wild lowbush blueberry in Quebec. *Canadian Journal of Plant Science* 91, 535-544.
- Lund A 1994 Storfuktiga blåbär. Odlaren nr 1. Förbundet organisk biologisk odling.
- Lyrene PM 1990 Low-chill highbush blueberries. *Fruit Varieties Journal* 44, 82-86.
- Magnusson, M. 2000. Soil pH and nutrient uptake in cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) and broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) in Northern Sweden. Doctoral thesis. *Agraria* 220.
- Marschner H 1995 Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press.

- McArthur D 2001 Optimizing nutrient delivery in variable soils for sustainable highbush blueberry production. *Acta Horticulturae* 564, 393-406.
- Merhaut DJ, Darnell 1995 Ammonium and nitrate accumulation in containerized southern highbush blueberry plants. *HortScience* 30, 1378-1381.
- Merhaut DJ, Darnell RL 1996 Vegetative growth and nitrogen/carbon partitioning in blueberry as influenced by nitrogen fertilization. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 121, 875-879.
- Merrill TA 1944 Effects of treatments on the growth of the highbush blueberry. *Journal of Agricultural Research* 69, 9-20.
- Merino-Gergichevich C 2010 Al³⁺ – Ca²⁺ interaction in plants growing in acid soils: Al-phytotoxicity response to calcareous amendments. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 10, 217-243.
- Miina J, Pukkala T, Hotanen JP, Salo K 2010 Optimizing the joint production of timber and bilberries. *Forest Ecology and Management* 259, 2065-2071.
- Minton NA, Hagler TB 1951 Nutrient-element deficiency symptoms of the rabbiteye blueberry. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 58, 115-119.
- Moore JN 1993 Adapting low organic upland mineral soils for culture of highbush blueberries. *Acta Horticulturae* 346, 221-229.
- Muralitharan MS, Chandler S, Van Steveninck RFM 1992 Effects of NaCl and Na₂SO₄ on growth and solute composition of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*). *Australian Journal of Plant Physiology* 19, 155-164.
- Naumann WD, Krüger E 1985 Nitrogen supply of highbush blueberries. *Acta Horticulturae* 165, 229-236.
- Näsholm T, Ekblad A, Nordin A, Giesler R, Högberg M, Högberg P 1998 Boreal forest plants take up organic nitrogen. *Nature* 392, 914-916.
- Nestby R, Percival D, Martinussen I, Opstad N, Rohloff J 2011 The European blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) and the potential for cultivation. A Review. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology* 5, 5-16.
- Ochmian I 2012 The impact of foliar application of calcium fertilizers on the quality of highbush blueberry fruits belonging to the Duke cultivar. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici* 40, 163-169.
- Ochmian I, Grajkowski J, Mikiciuk G, Ostrowska K, Chelpinski P 2009 Mineral composition of high blueberry leaves and fruits depending on substrate type used for cultivation. *Journal of Elementology* 14, 509-516.
- Oertli JJ 1963 Effect of form of nitrogen and pH on growth of blueberry plants. *Agronomy Journal* 55, 305-306.
- OMAFRA 2012 Guide to fruit production 2012-2013. Publication 360. Ontario: Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Tillgänglig: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/pub360/p360toc5.htm> [2013-03-13]
- Patten K, Neuendorff E, Nimr G, Haby V, Wright G 1989 Cultural practices to reduce salinity/sodium damage of rabbiteye blueberry plants (*Vaccinium ashei* Reade). *Acta Horticulturae* 241, 207-212.

- Percival DC, Prive JP 2002 Nitrogen formation influences plant nutrition and yield components of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.). *Acta Horticulturae* 574, 347-353.
- Persson J, Högberg P, Ekblad A, Högberg M, Nordgren A, Näsholm T 2003 Nitrogen acquisition from inorganic and organic sources by boreal forest plants in the field. *Oecologia* 137, 252-257.
- Peterson LA, Stang EJ, Dana MN 1988 Blueberry response to $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 113, 9-12.
- Pliszka K, Scibisz K, Rojek H 1993 The effect of soil management and mineral fertilization upon growth and cropping of the highbush blueberry cv. Bluecrop. *Acta Horticulturae* 346, 149-154.
- Poonnachit U, Darnell R 2004 Effect of ammonium and nitrate on ferric chelate reductase and nitrate reductase in *Vaccinium* species. *Annals of Botany* 93, 399-405.
- Powell C 1981 Mycorrhizal fungi and blueberries - how to introduce them. *New Zealand Journal of Agriculture* 143, 33-35.
- Pritts MP, Hancock JF 1992 Commercial Blueberry Production Guide. Highbush Blueberry Production Guide. Northeast Regional Engineering Service, Ithaca, NY.
- Read DJ 1996 The structure and function of the ericoid mycorrhizal root. *Annals of Botany* 77, 365-374.
- Read DJ, Stribley DP 1973 Effect of mycorrhizal infection on nitrogen and phosphorus nutrition of ericaceous plants. *Nature* 244, 81-82.
- Reich LA, Korcak RF, Thompson AH 1982 The effect of selected soil factors on growth and nutrient content of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Journal of the American Society for Horticultural Sciences* 107, 943-946.
- Retamales JB och Hancock JF 2011 Blueberries. *Crop Production Science in Horticulture Series*, 21. Wallingford: CABI.
- Reyes-Diaz M, Inostroza-Blancheteau C, Millaleo R, Cruces E, Wulff-Zottele C, Alberdi M, Mora MD 2010 Long-term aluminium exposure effects on physiological and biochemical features of highbush blueberry cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 135, 212-222.
- Reyes-Diaz M, Merino-Gergichevich C, Alarcon E, Alberdi M, Horst WJ 2011 Calcium sulfate ameliorates the effect of aluminium toxicity differentially in genotypes of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 11, 59-78.
- Rosen CJ, Allan DL, Luby JJ 1990 Nitrogen form and solution pH influence growth and nutrition of two *Vaccinium* clones. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115, 83-88.
- Rowell DL 1994 Soil science –methods and applications. Longman Scientific, technical.
- Ryan PR, Delhaize E 2010 The convergent evolution of aluminium resistance in plants exploits a convenient currency. *Functional Plant Biology* 37, 275-284.
- Sanderson KR, Carter MR, Ivany JA 1996 Effects of gypsum on yield and nutrient status of native lowbush blueberry. *Canadian Journal of Plant Science* 76, 361-366.
- Sanderson K, Jordan C, Fillmore S 2008 Leaf nutrient ranges for wild blueberries in Prince Edward Island. *International Journal of Fruit Science* 8, 63-68.

- Scagel CG 2005 Inoculation with ericoid mycorrhizal fungi alters fertilizer use of highbush blueberry cultivars. *HortScience* 40, 786-794.
- Scagel CF, Yang WQ 2005 Cultural variation and mycorrhizal status of blueberry plants in NW Oregon commercial production fields. *International Journal of Fruit Science* 5, 85-111.
- Scagel CF, Wagner A, Winiarski P 2005 Frequency and intensity of root colonization by ericoid mycorrhizal fungi in nursery production of blueberry plants. *Small Fruits Review* 4, 95-112.
- Schmid A, Suter F, Weibel FP, Daniel C. 2009 New approaches to organic blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) production in alkaline field soils. *European Journal for Horticultural Science* 74, 103-111.
- Scibisz K, Pliszka K, Czesnik E, Rojek H 1990 Effect of phosphorus fertilization upon soil P content and P uptake by highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Acta Horticulturae* 274, 471-481.
- Shaw G, Leake JR, Baker JM, Read DJ 1990 The biology of mycorrhiza in the Ericaceae XVII. The role of mycorrhizal infection in the regulation of iron uptake by ericaceous plants. *New Phytologist* 115, 251-258.
- Shenker M, Chen Y 2005 Increasing iron availability to crops: Fertilizers, organo-fertilizers, and biological approaches. *Soil Science and Plant Nutrition* 51, 1-17.
- Sheppard SC 1991 A field and literature survey, with interpretation, of elemental concentrations in blueberry (*Vaccinium angustifolium*). *Canadian Journal of Botany* 69, 63-77.
- Smagula JM, Litten W 1989 Effect of ericoid mycorrhizae isolates on growth and development of lowbush blueberry tissue culture plantlets. *Acta Horticulturae* 241, 110-113.
- Smagula JM, Litten W 2003 Can lowbush blueberry soil pH be too low? *Acta Horticulturae* 626, 309-314.
- Smagula JM 2006 Evaluation of the leaf boron standard for *Vaccinium angustifolium* Ait. *Acta Horticulturae* 715, 365-370.
- Smagula JM 2008 Evaluation of *Vaccinium angustifolium* Ait. copper and iron leaf standards. *Acta Horticulturae* 772, 351-354.
- Smagula JM, Litten W 2002 Correcting lowbush blueberry boron deficiency with soil or foliar application. *Acta Horticulturae* 574, 363-371.
- Smolarz K, Mercik S 1993 Growth and yielding of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) in response to long term (since 1923) differential fertilization. *Acta Horticulturae* 346, 193-198.
- Spiers JM 1983 Influence of N, K, and Na concentration on growth and leaf element content of Tifblue rabbiteye blueberry. *HortScience* 18, 223-224.
- Spiers JM 1984 Influence of lime and sulfur soil additions on growth, yield, and leaf nutrient content of rabbiteye blueberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 109, 559-562.
- Spiers JM 1995 Substrate temperatures influence root and shoot growth of southern highbush and rabbiteye blueberries. *HortScience* 30, 1029-1030.
- Spiers JM 1998 Establishment and early growth and yield of Gulfcoast Southern highbush blueberry. *HortScience* 33, 1138-1140.

- Spiers JM 2000 Influence of cultural practices on root distribution of Gulfcoast blueberry. *Acta Horticulturae* 513, 247-252.
- Spiers JM, Braswell JH 1989 Effect of sulphur and micronutrients on growth and elemental leaf content of rabbiteye blueberries. *Acta Horticulturae* 241, 151-156.
- Starast M, Karp K, Paal T 2002 The effect of using different mulches and growth substrates on half-highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* x *V. angustifolium*) cultivars Northblue and Northcountry. *Acta Horticulturae* 574, 281-286.
- Starast M, Koljalg U, Karp K, Vool E, Noormets M, Paal T 2006 Mycorrhizal colonization of half-high blueberry cultivars influenced by cultural practices. *Acta Horticulturae* 715, 449-454.
- Starast M, Karp K, Vool E, Albert T 2007 Effect of NPK fertilization and elemental sulphur on growth and yield of lowbush blueberry. *Agricultural and Food Science* 16, 34-45.
- Stevens CM, Goulart BL, Demchak K, Hancock JF, Dalpé Y, Yang WQ 1997 The presence, isolation, and characterization of ericoid mycorrhizal symbionts in two native and two commercial *Vaccinium* populations in central Pennsylvania. *Acta Horticulturae* 446, 411-420.
- Steineck S, Djurberg L, Ericsson J 1991 Stallgödsel. *Speciella skrifter* 43, Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Stribley DP, Read DJ 1976 The biology of mycorrhiza in the Ericaceae VI. The effect of mycorrhizal infection and concentration of ammonium nitrogen on growth of cranberry (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) in sand culture. *New Phytologist* 77, 63-72.
- Strik B, Fisher G, Hart J, Ingham R, Kaufman D, Penhallegon R, Pscheidt J, William R, Brun C, Ahmedullah M, Antonelli A, Askham L, Bristow P, Havens D, Scheer B, Shanks C, Barney D 2007 Northwest Berry, Grape Information Network. Tillgänglig: <http://berrygrape.org/blueberry-nutrition-fertilization/> [2013-03-13]
- Strik B, Bryla D, Larco H, Julian J 2012 Organic highbush blueberry production systems research – management of plant nutrition, irrigation requirements, weeds and economic sustainability. *Acta Horticulturae* 933, 212-220.
- Stückrath R, Quevedo R, de la Fuente L, Hernández A, Sepúlveda V 2008a Effect of foliar application of calcium on the quality of blueberry fruits. *Journal of Plant Nutrition* 31, 1299-1312.
- Stückrath R, Quevedo R, de la Fuente L, Hernández A, Sepúlveda V 2008b Effect of calcium foliar application on the characteristics of blueberry fruit during storage. *Journal of Plant Nutrition* 31, 849-866.
- Sugiyama N, Hanawa S 1992 Growth response of rabbiteye blueberry plants to N forms at constant pH in solution culture. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Sciences* 61, 25-29.
- Sugiyama N, Hirooka M 1993 Uptake of ammonium-nitrogen by blueberry plants. *Journal of Plant Nutrition* 16, 1975-1981.
- Sugiyama N, Ishigaki K 1994 Uptake of nitrate-nitrogen by blueberry plants. *Journal of Plant Nutrition* 17, 1975-1982.
- Tamada T 1989 Nutrient deficiencies of rabbiteye and highbush blueberry. *Acta Horticulturae* 241, 132-138.

- Tasa T, Starast M, Vool E, Moor U, Karp K 2012 Influence of soil type on half-highbush blueberry productivity. *Agricultural and Food Science* 21, 409-420.
- Throop PA, Hanson EJ 1997 Effect of application date on absorption of ¹⁵nitrogen by highbush blueberry 122, 422-426.
- Townsend LR 1970 Effect of form of N and pH on nitrate reductase activity in lowbush blueberry leaves and roots. *Canadian Journal of Plant Science* 50, 603-605.
- Townsend LR 1973 Effects of N, P, K and Mg on the growth and productivity of the highbush blueberry. *Canadian Journal of Plant Science* 53, 161-168.
- Trevett MF 1972 A second approximation of leaf analysis standards for lowbush blueberry. *Research in the Life Sciences. Maine Agricultural Experimental Station* 19, 15-16.
- Troelstra SR, Wagenaar R, Smant W 1995 Nitrogen utilization by plant species from acid heathland soils. I. Comparison between nitrate and ammonium nutrition at constant low pH. *Journal of Experimental Botany* 46, 1103-1112.
- Valenzuela-Estrada LR, Vera-Caraballo V, Ruth LE, Eissenstat DM 2008 Root anatomy, morphology, and longevity among root orders in *Vaccinium corymbosum* (Ericaceae). *American Journal of Botany* 95, 1506-1514.
- Valenzuela-Estrada LR, Richards JH, Diaz A, Eissenstat DM 2009 Patterns of nocturnal rehydration in root tissues of *Vaccinium corymbosum* L. under severe drought conditions. *Journal of Experimental Botany* 60, 1241-1247.
- Vega AR, Garcia M, Rodriguez A, Prat L, Mella J 2009 Blueberries mycorrhizal symbiosis outside of the boundaries of natural dispersion for ericaceous plants in Chile. *Acta Horticulturae* 810, 665-671.
- Wieder RK & Lang GE 1986 Fe, Al, Mn and S chemistry of *Sphagnum* peat in four peatlands with different metal and sulfur input. *Water, Air, and Soil Pollution* 29, 309-320.
- Williamson J, Krewer G, Pavlis G, Mainland CM 2006 Blueberry soil management, nutrition and irrigation. *In* Childers NF & Lyrene PM (eds.) *Blueberries for growers, gardeners, promoters*. Florida: EO Painter Printing Company Inc.
- Wojcik P 2005 Response of 'Bluecrop' highbush blueberry to boron fertilization. *Journal of plant nutrition* 28, 1897-1906.
- Wright GC, Patten KD, Drew M 1992 Salinity and supplemental calcium influence growth of rabbiteye and Southern highbush blueberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117, 749-756.
- Wright GC, Patten KP, Drew M 1994 Mineral composition of young rabbiteye and Southern highbush blueberry exposed to salinity and supplemental calcium. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119, 229-236.
- Wright GC, Patten KD, Drew MC 1995 Labeled sodium (²²Na⁺) uptake and translocation in rabbiteye blueberry exposed to sodium chloride and supplemental calcium. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 120, 177-182.
- Yang WQ, Goulart BL 1997 Aluminium and phosphorus interactions in mycorrhizal and nonmycorrhizal highbush blueberry plantlets. *Journal of the American Society for Horticultural Sciences* 122, 24-30.

- Yang WQ, Goulart BL, Demchak K 1996 The effect of aluminium and media on the growth of mycorrhizal and nonmycorrhizal highbush blueberry plantlets. *Plant and Soil* 183, 301-308.
- Yang WQ, Goulart BL, Demchak K 1998 Mycorrhizal infection and plant growth of highbush blueberry in fumigated soil following soil amendment and inoculation with mycorrhizal fungi. *HortScience* 33, 1136-1137.
- Yang WQ, Goulart BL, Demchak K, Li Y 2002 Interactive effects of mycorrhizal inoculation and organic soil amendments on nitrogen acquisition and growth of highbush blueberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127, 742-748.
- Yarborough DE, Smagula JM, Drummond F, Annis S 2009 Organic production of wild blueberries III. Fruit quality. *Acta Horticulturae* 810, 847-852.
- Yarborough DE 2012 Establishment and management of the cultivated lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium*). *International Journal of Fruit Science* 12, 14-22.
- Young MJ, Cameron JS 1985 Influence of growth-regulators and nitrogen form on micropropagation of rabbiteye blueberries. *Fruit Varieties Journal* 39, 16-18.
- Ågren GI, Weih M 2012 Plant stoichiometry at different scales: elemental concentration patterns reflect environment more than genotype. *New Phytologist* 194, 944-952.
- Åkerström A 2010 Factors affecting the anthocyanidin concentrations in fruits of *Vaccinium myrtillus* L. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae* 2010:52.