

Utveckling av gödslingsrekommendationer för köksväxtodling med hjälp av dataprogram - utvärdering för svenska förhållanden.

Göran Ekbladh, SLU, Institutionen för markvetenskap.

Sammanfattning

Tillväxt, kvävetillgång och kväveupptag hos vitkål gödslad enligt rekommendationer från datorprogrammet N-Expert jämfördes med programmets beräknade värden samt med vitkål gödslad enligt gängse praxis. Dessutom gjordes en jämförelse med en försöksmässig strategi som garanterade att vitkålen inte var kvävebegränsad. Vitkålen som gödslades enligt N-Expert hade lägre tillväxt och kväveinnehåll än den som var gödslad enligt gängse praxis och än den som gödslades enligt den försöksmässiga strategin. Det finns några troliga orsaker till skillnaderna. Programmet underskattade behovet av kväve för optimal tillväxt i början av vitkålen utveckling. Detta har justerats i en senare version av programmet så att det beräknar att förhållandevis mer tas upp tidigare under säsongen. Vitkålen svarar med ökad tillväxt på mineralkväveinnehåll i markens som är större än det förråd på 80 kg N/ha som enligt N-Expert behövs utöver det kväve som tas upp. Allt kväve var inte åtkomligt för rötterna ner till det djup som N-Expert beräknade.

Indata på mängd växande gröda vid slutskörd rekommenderas till 180-190 ton per hektar. Bortförd mängd skördade huvuden från fältet ska multipliceras med en faktor 1,9 för att få indata på mängd växande gröda vid slutskörd.

Med ytterligare förbättringar kan N-Expert bli ett värdefullt hjälpmedel för gödslingsplanering av frilandsodling av köksväxter.

Inledning

Odling av grönsaker är ofta intensiv. Många kulturer har stort kvävebehov och lämnar stora mängder kväverika skörderester på marken. Arealen som odlas är visserligen liten. Grönsaksodlingen i Sverige omfattade 6150 hektar år 1999. Arealen är liten sett i relation till den totala åkerarealen i Sverige, som utgörs av 2,7 miljoner hektar (SCB). Även i ett europeiskt perspektiv är den svenska grönsaksodlingen blygsam. Vitkål, som är en av de mest kvävekrävande kulturerna, odlades på 442 hektar år 2001 i Sverige (SCB). Det är en liten del av produktionen i Europa, där vitkål odlas på drygt 65 000 hektar (ENVEG). Miljöbelastningen från den lilla arealen av grönsaksodling kan synas vara marginell i det stora hela. Den lokala påverkan kan dock vara av stor betydelse med tanke på intensiteten i odlingen. I vissa distrikt i Europa odlas grönsaker på stora arealer, vilket ställer krav på god miljöhänsyn. För att stå sig i konkurrens med grönsaker från andra länder bör inhemska odlingsmetoder och produkter vara minst lika bra eller bättre jämfört med produkter från andra länder. För konkurrensneutralitet kan det förväntas att villkoren ska vara lika inom EU.

Betydande utvecklingsarbete har genomförts vid forskningsinstitut och universitet för att ta fram metoder till hjälp för grönsaksproduktionen för att kunna uppnå en optimal avvägning av kvävetillförsel för maximal produktion med minimal miljöpåverkan. Med hjälp av markanalys kan kvävetillförseln anpassas till redan tillgängligt mineralkväve i marken så att stora mängder av mineralkväve i marken under odlingssäsongen och mycket restkväve efter skörd kan undvikas (Wehrmann och Scharpf, 1979). Med hjälp av växtanalys, särskilt bestämning av nitratinnehållet, ges möjlighet till löpande uppföljning av kvävestatus i grödan (Matthaus m.fl., 2001).

Datormodeller har utvecklats för att beräkna kvävetillgången och grödans kvävebehov fortlöpande under odlings säsongen som underlag för gödslingsrekommendationer (Fink och Scharpf, 1993; Rahn m.fl., 1996). Beräkningarna kan göras utan tillgång till analysdata men tillförlitligheten ökas om beräkningarna kan stämmas av mot analysdata.

Förhoppningen är att dessa metoder ska medverka till att odlaren kan få stöd att justera dagens praxis mot växtnäringstrategier som bättre svarar till grödans olika behov under dess tillväxt utan att ge avkall på produktionen. Syftet med detta projekt var att introducera datorprogram för gödslingsrekommendationer till Sverige och utvärdera tillförlitligheten under svenska förhållanden. Datorprogrammet N-Expert valdes för beräkning av gödslingsrekommendationer därför att det vid projektets start fanns tillgängligt i en användarvänlig version. Datorprogrammet N_ABLE testades för jämförelser mellan beräknade värden och utfallet i fält på tillväxt, kväveupptag och mineralkvävetillgång i marken.

Projektets målsättning:

1. Jämförelser mellan i N-Expert beräknade värden och fältdata av tillväxt vid slutskörd och kväveupptaget mellan varje provtagning.
2. Jämförelse mellan N-gödsling efter N-Expert och dels en konventionell gödslingsstrategi och dels en försöksmässig gödslingstrategi där tillväxten säkert inte var kvävebegränsad av kvävetillgång och tillväxt.
3. Insamling av dataunderlag för att kunna relatera odlarens skördeuppskattning till indata på tillväxt av växande gröda vid slutskörd.
4. Simulering av tillväxt och kvävetillgång med N_ABLE.

N-Expert

Datorprogrammet N-Expert har utvecklats i Grossbeeren, Tyskland under ledning av Mattias Fink. Programmet beräknar gödslingsrekommendationer specifikt för varje fält. Beräkningarna för kvävetillförsel baseras på sex huvudkomponenter. Varje huvudkomponent är beroende av olika delkomponenter (tabell 1). Programmet ger rekommendationer förutom för kväve även för fosfor, kalium och magnesium (Fink och Scharpf, 1993).

Tabell 1. Beräkning av gödslingsrekommendation för kväve

Huvudkomponent	Delkomponenter
+ Kväveupptag	Gröda, utvecklingsstadium, odlingsystem
+ Minsta förråd utöver upptag	Gröda
+ Kväveförluster (immobilisering och dentrifikation)	Kvävetillförsel, odlingsperiodens längd
- Mineralkväveförråd	
- Kväveleverans från humus	Mullhalt, tid under året, odlingsperiodens längd
- Kväveleverans från skörderester	Föregående gröda, mängd av skörderester
= Gödslingsrekommendation	

Viktiga indata till programmet är gröda, förväntad tillväxt vid slutskörd, odlingsperiodens längd (planteringsdag/dag för sådd, förväntad skördedag) och mullhalt (förväntad kväveleverans från marken). Dessutom anges eventuell provtagning av mineralkväve i marken och vilka gödselmedel som tillförts. För vissa grödor finns separata data beroende på om det är en tidig eller sen kultur. Beräkning

av den förväntade kväveleveransen från marken baseras på en grov uppskattning i låg, medel eller hög mineralisering från humus.

I databasen finns data för tillväxt och kväveupptag för en mångfald av kökssväxtkulturer. Det finns också data för beräkning av hur stor efterverkan skörderester från olika grödor blir. Programmet uppskattar markens kväveleverans men gödslingsrekommendationen blir mer tillförlitlig om analysdata på markens mineralkväveinnehåll anges. Med hjälp av dessa data beräknar N-Expert kvävebehovet från vilken dag som helst under säsongen fram till slutskörd. Programmet är samtidigt ett odlingsplaneringsprogram som ger översikt på olika skiften och omgångar inom skiftena samt vilka omgångar som följer efter varandra under samma säsong. Växtnäringsbalanser kan beräknas för varje skifte och sammantaget för hela odlingsenheten. Data från markkarteringen anges för de olika skiftena som underlag för rekommendationer för fosfor, kalium och magnesium.

Programmet är användarvänligt och kan lätt användas av odlare och rådgivare. Då programmet är på tyska behövs översättning till svenska om det ska kunna komma till bredare användning här.

N_ABLE/WELL_N

Datorprogrammet N_ABLE har utvecklats vid HRI i Wellesbourne av Duncan J Greenwood (Rahn m.fl., 1996). Det har försatts med ett gränssnitt för ökad användarvänlighet och har då fått namnet WELL_N. Beräkningarna baseras på en serie ekvationer för tillväxt av både rotutveckling och ovanjordisk biomassa, för kväveinnehållets påverkan på tillväxten, för rötternas åtkomlighet av kvävet både vertikalt och horisontellt. Grunden för ekvationerna har publicerats internationella vetenskapliga tidskrifter under en lång följd av år. N_ABLE är mer dynamiskt jämfört med N-Expert i det att det tar hänsyn till klimatet. Markens kväveleverans och tillväxt påverkas av temperaturen. Det finns också en modul som uppskattar utlakning (Burns, 1974).

Material & metoder

Jämförelser mellan i modellerna beräknade värden och fältdata på avkastning och kväveupptag gjordes i fältförsök (delmål 1) i en kommersiell vitkålsodling (Skånegård A), 2002, och på Torslunda Försöksstation, 2000-2002. De två första åren gjordes jämförelserna vid två olika nivåer av kvävetillförsel, figur 1. Det sista försöksåret, 2002, jämfördes beräknade värden med fältdata vid endast en nivå.

Kvävegödsling efter N-Expert jämfördes med två olika strategier, 2002 (delmål 2). De två strategierna var en gödslingsstrategi efter gängse praxis samt en försöksmässig gödslingsstrategi, som utformades så att tillväxten garanterat inte var kvävebegränsad. Jämförelseledet gängse praxis fanns på Skånegård A och det försöksmässiga som inte var kvävebegränsat genomfördes på Torslunda Försöksstation. Samtliga försöksår ingick dessutom en försöksbehandling helt utan kvävetillförsel som referens för markens kväveleverande förmåga. På Torslunda Försöksstation gjordes försöket i fyra upprepningar men med provtagning i tre av upprepningarna. På Skånegård A gjordes de två gödslade behandlingarna i fyra upprepningar emedan endast en nollruta fanns.

Indata på förväntad tillväxt till N-Expert baserades första året på uppgifter från rådgivningen. Enligt dessa uppgifter var 60 ton normal huvudskörd under svenska förhållanden. Därefter anpassades på data från de tidigare försöksåren. I den andra försöksbehandlingen på Torslunda Försöksstation, jämförelseledet till gödsling enligt

N-Expert, tillfördes kväve varje vecka efter provtagning av markens mineralkväveförråd (N_{\min}) enligt:

$$N_{\text{tillfört}} = N_{\text{behov}} - (N_{\min} - 15) + N_{\text{buffert}}$$

Vitkålens kvävebehov (N_{behov}) för den kommande veckan beräknades på data från ett fältförsök på Torslunda Försöksstation 2001 där den optimala tillförseln bestämdes från responskurvor från försöksrutorna med kvävetillförsel i 7 olika nivåer. En buffert (N_{buffert}) som varierade mellan 15-40 kg per hektar lades till för att inte riskera att kvävet blev begränsande. Markens mineralkväveförråd minskades med 15 kg. Grödan kan inte ta upp lika mycket kväve som enligt analysresultatet ska finnas i marken. En viss mängd, 0,26 kg per hektar och cm återstår när grödan har tömt marken på kväve (Greenwood m.fl., 1992). Principen för beräkningarna av tillförseln efter rekommendationer från N-expert är beskriven i tabell 1. Kalium, fosfor och magnesium tillfördes på Torslunda Försöksstation efter rekommendationer från N-Expert, korrektionsfaktorer "N-Expert" och efter AL-klass. De finns olika korrektionsfaktorer i N-Expert för olika delar av Tyskland beroende på praxis och extraktionsmetod. För N-Expert gödslingen på Skånegård A följdes svenska rekommendationer (Fogelfors, 2001)

Tillförda mängder redovisas i tabell 2 för perioderna (1-4) mellan varje provtagningstillfälle 0, 5, 9 och 14 veckor efter plantering samt vid slutskörd. Det blev dock vid några tillfällen viss förskjutning av provtagningen av praktiska skäl i förhållande till de ursprungligen bestämda tidpunkterna.

Insamling av dataunderlag för indata på tillväxt till modellberäkningar (delmål 3) gjordes 2002 i tre kommersiella vitkålsodlingar (Skånegård A-C). Förutom vikten bestämdes också kväveinnehållet i vitkålen. Dataunderlaget tjänade också syftet att undersöka i vilken utsträckning resultaten från försöksrutorna på försöksstationen var representativa för produktionen av vitkål i kommersiell odling.

Försöken på Torslunda Försöksstation bevattnades vid -20 cb markvattentension. På Skånegårdarna bevattnades vitkålen efter odlarens strategi. Klimatdata registrerades varje timme och sammanräknades till dygnsmedelvärden. Luft- och marktemperatur, instrålning, markvatteninnehåll och markvattentension registrerades. Avdunstningen mättes med avdunstningsmätare.

Provtagning av mark och gröda gjordes före plantering samt 5, 9 och 14 veckor efter plantering och vid slutskörd. N-Expert, version 1.3, rekommenderar delad kvävegiva med övergödsling 6 och 10 veckor efter plantering. Det stämde relativt väl överens med praxis på Skånegård A. Markprovtagning gjordes endast på Skånegård A och på Torslunda. Mineralkväveprovtagning gjordes rutvis i två skikt, 0-30 och 30-60 cm, varefter proverna extraherades i 2M KCl för bestämning av ammonium- och nitratkväve. Data på mineralkväveinnehållet användes av N-Expert för att beräkna gödslingsbehovet. För bestämning av totalkväveinnehållet i vitkålen skördades och vägdes 10 plantor rutvis vid varje provtagningstillfälle. Av de 10 som skördades utvaldes fyra slumpmässigt till totalkvävebestämning. De fyra plantorna klövs i fyra delar varav en fjärdedel hackades, vägdes och torkades vid 50°C. Efter torkning maldes provet och totalkvävet bestämdes med förbränningsmetoden enligt Dumas (LECO-utrustning). Torrsubstanshalten bestämdes med ytterligare en torkning vid 105 °C.

Vitkål valdes som modellgröda därför att den har ett stort kvävebehov. En av höstsorterna, Heckla från Svalöf-Weibull valdes till försöket. På Skånegård A och B togs prover i Impala och på Skånegård C i Lion. Vitkålen på Torslunda Försöksstation

Tabell 2. Tillförda kvävemängder, kväveupptag och utnyttjandegrad av tillfört kväve 2002 (kg N/ha)

	Ej kväve- begränsad Torslunda	N-Expert Torslunda	N-Expert Skånegård A	Gångse praxis Skånegård A	Gångse praxis Skånegård B	Gångse praxis Skånegård C
Period 1	82	66	77	159	*	77
Period 2	155	93	34	93	*	153
Period 3	274	139	211	93	*	47
Period 4	108	21	0	0	*	46
Summa	619	319	322	345	*	323
Kväveupptag	529	330	387	390	271	297

*Uppgift saknas

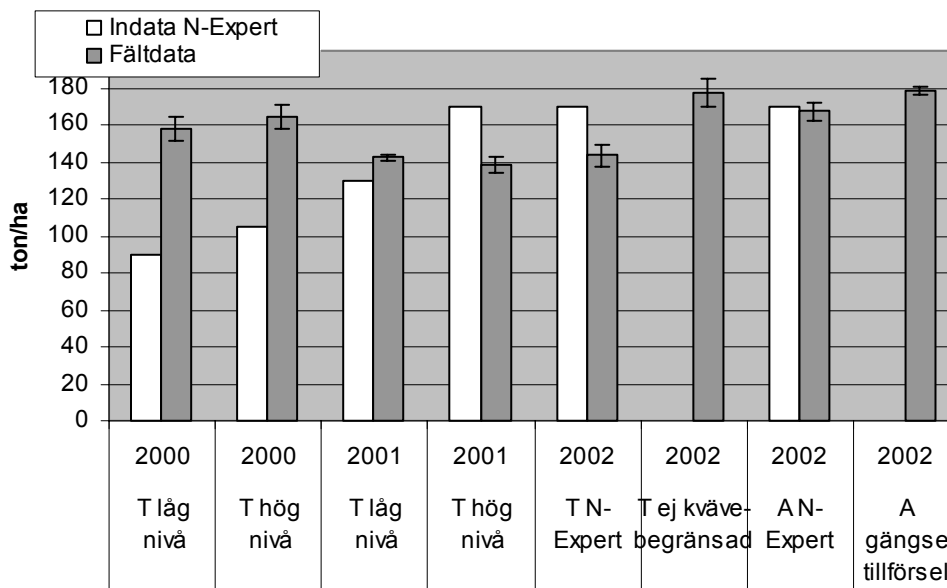
och Skånegård A och B var planterad (22/5, 13/5 resp. uppgift saknas) medan den på Skånegård C var direktsådd (16/4).

Skillnader i medelvärden på mängden växande gröda samt kväveinnehållet för samtliga behandlingar på de fyra platserna år 2002 analyserades med variansanalys och med post hoc test enligt Duncan.

Dessvärre kompliceras tolkningen av försöket på grund av versionsbyte av N-Expert från version 1.3 till 1.33. År 2001 tillfördes kalium och fosfor efter planteringsdatum, vilket ledde till ett felmeddelande. Detta rättades till genom en ändring i programmet. Betydande förändringar av flera andra parametrar (fördelning av kväveupptag under säsongen, mista förråd utöver upptag, normvärden för odlingsperiodernas längd) hade gjorts till den nya versionen utan bifogad information, vilket tyvärr uppdagades för sent. Det finns därför skillnader i beräkningssätt mellan försöksplatser och tillväxtperioder eftersom beräkningarna gjordes på olika versioner på två olika datorer på Torslunda Försöksstation och på Ultuna vid olika tillfällen. Normvärdet för övergödslingsstidpunkt ändrades från 6 och 10 veckor till 3 och 9 veckor efter plantering. Fördelningen av kväveupptaget ändrades så att förhållandevis mer tillförs tidigare och mindre senare under säsongen jämfört med den tidigare versionen. Minsta förrådet ändrades från 80 kg N per hektar under de 6 första veckorna och därefter 20 kg till 40 kg N per hektar under de 9 första veckorna och därefter 20 kg (tabell 3).

Tabell 3. Förändringar i angivet minsta mellan förråd utöver upptag (N_{mf}) och kväveupptag (N_u) i N-Expert version 1.3 och 1.33

	Version 1.3		Version 1.33	
	N_{mf}	N_u	N_{mf}	N_u
22/5-26/6	80	31	40	41
27/6-24/7	80	106	40	151
25/7-29/9	20	243	20	176
22/5-29/9		380		368



Figur 1. Förväntad tillväxt av växande gröda vid slutskörd som indata till N-Expert och motsvarande utfall i fält. T=Torslunda, A=Skånegård A.

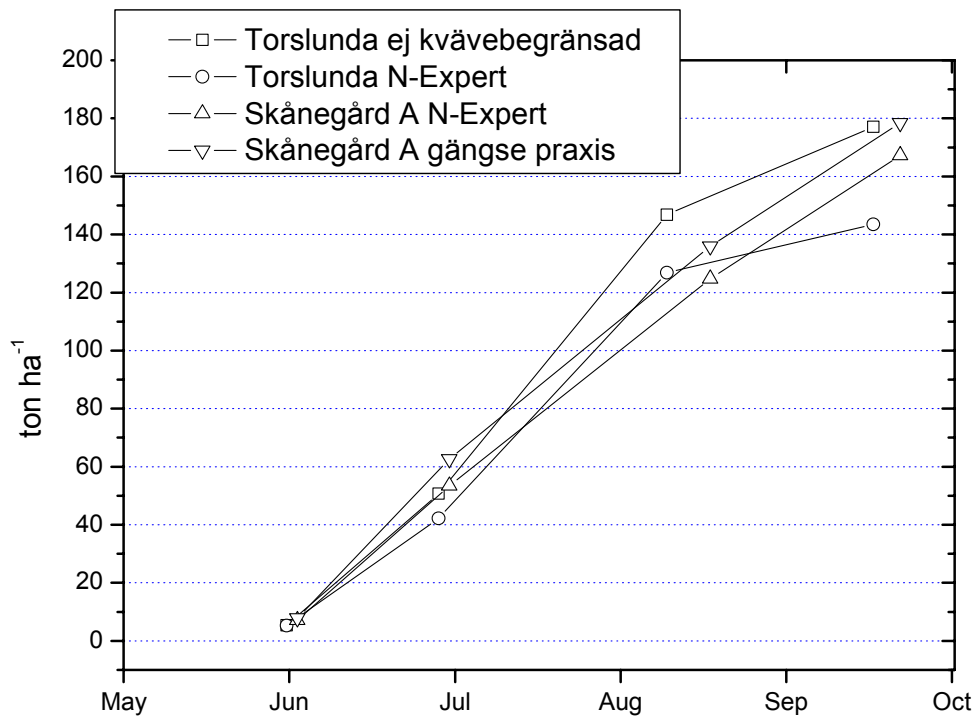
Resultat

Förväntad tillväxt och tillväxt i fält

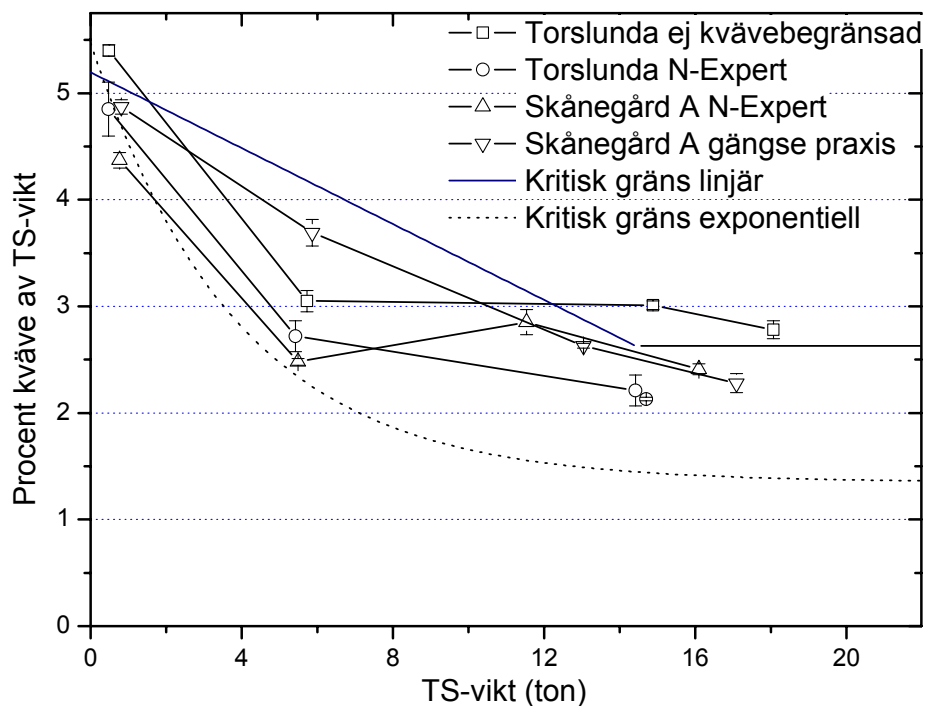
Beräkningen i N-Expert av kvävebehovet baseras på den förväntade tillväxten. Rätt indata på förväntad tillväxt av växande gröda vid slutskörd har stor betydelse för att gödslingsrekommendationerna ska bli korrekta. I figur 1 jämförs angiven förväntad tillväxt vid slutskörd som indata till N-Expert med motsvarande utfall i fälldata. År 2000 underskattades den möjliga produktionen och angivna indata på tillväxt vid slutskörd var för låga och därmed blev kvävetillförseln otillräcklig. Den låga kvävetillförseln kompensades med råge av stor kväveleverans från marken. Året därpå ökades indata på förväntad tillväxt, fortfarande i två olika nivåer, till 130 respektive 170 ton per hektar. Tillväxten blev emellertid inte så stor som förväntades, varken under 2001 eller 2002.

Under 2002 jämfördes tillväxten i vitkål gödslad enligt N-Expert med gängse gödslingspraxis på Skånegård A respektive på Torslunda Försöksstation med vitkål som gödslades efter veckovis uppföljning av mängden mineralkväve i marken för att vara garanterad att tillväxten aldrig var kvävebegränsad. Förväntad tillväxt vid slutskörd, som indata till N-Expert, angavs till 170 ton per hektar på Torslunda Försöksstation. På Skånegård A angavs den förväntade tillväxten först till 142 ton för beräkningen för period 1. Uppskattningen grundades på information från odlaren och försöksdata på förhållandet mellan mängden skörderester och mängden skördade huvuden. Till beräkningen för de följande perioderna angavs istället tillväxten till 170 ton på grundval av utvecklingen i de olika bestånden under period 1.

Vitkålen gödslad enligt gängse praxis och den ej kvävebegränsade nådde samma slutvikt, strax under 180 ton per hektar, figur 2. Det svarar till TS-vikt på 17,1 respektive 18,1 ton per hektar. Vikten blev lägre för vitkål som gödslades enligt N-Expert än för respektive jämförelseled på de båda platserna.



Figur 2. Tillväxten (friskvikt) på Skånegård A och Torslunda Försöksstation 2002. Provtagning 5, 9 och 14 veckor efter utplantering samt vid slutskörd.



Figur 3. Koncentrationen av kväve i vitkål vid olika TS vikt. Kurvor utan symbol anger kritisk gräns, den exponentiella enligt Greenwood m.fl. (1989) och den linjära enligt Greenwood m.fl. (1996).

Skillnaden var endast signifikant vid fjärde provtillfället på Torslunda ($p = 0,0036$).

Vitkålen på Skånegård A led av torkan under augusti månad. Bevattningen lyckades inte hålla takt med den stora avdunstningen. Medelvärdet i slutet av augusti var lägre än i den ej kvävebegränsade på Torslunda. Skillnaden är dock inte statistiskt signifikant.

Samband mellan tillväxt och kväveinnehållet i plantan

Vitkål, gödslad enligt N-Expert på Torslunda Försöksstation hade lägre kväveinnehåll redan vid provtagningen i juni, 5 veckor efter utplantering. (torrsubstansvikt /TS-vikt = 0,5 ton) och var fortsatt lägre vid provtagningen i juli, 9 veckor efter utplantering (TS-vikt = 5,4 ton) (figur 3) jämfört med den som inte var kvävebegränsad. På Skånegård A hade vitkål gödslad enligt N-Expert lägre kväveinnehåll än den gängse gödslade. Skillnaden var statistiskt signifikant vid provtagningen i juli ($p=0,00006$). På Skånegård A ökade kväveinnehållet i augusti (TS-vikt = 11,6) och var lika stor som den gödslad enligt gängse praxis.

Det lägre kväveinnehållet vid provtagningarna i juni och juli i vitkål, som var gödslad enligt N-Expert, var relaterad till lägre tillväxt på båda platserna. Gränsen för den kritiska kväveinnehållet, under vilken tillväxten är kvävebegränsad, är inritad som två kurvor i figur 4. Den exponentiellt fallande kurvan (Greenwood m.fl., 1989) underskattar troligtvis kvävebehovet, eftersom gödningen enligt N-Expert var kvävebegränsad. Kväveinnehållet i vitkål gödslad enligt N-Expert var nära men något över den exponentiellt fallande kurvan. Den linjärt fallande kurvan (Greenwood m.fl., 1996) överskattar troligtvis behovet, särskilt vid juli-provtagningen, eftersom vitkålen med veckovis uppföljning inte var kvävebegränsad. Vid juli-provtagningen var kväveinnehållet betydligt högre på Skånegård A, där vitkålen sannolikt hade betydligt med kväve i överskott.

För att relatera TS-vikterna till friskvikt går det att approximativt räkna med att TS-halten är 10% under hela tillväxtperioden.

Samband mellan tillväxt och kvävetillgång

Redan vid första provtagningen strax för midsommar 2002, efter period 1, fanns det en tendens till lägre tillväxt i den vitkål som var gödslad enligt rekommendationerna från N-Expert jämfört med både den som gödslad enligt gängse praxis på Skånegård A och jämfört med den som inte var kvävebegränsad på Torslunda Försöksstation. Kväveinnehållet skiljde sig också. Skillnaderna var dock inte statistiskt signifikanta. Om det trots otillräcklig signifikans var skillnader tyder det på att vitkålen var kvävebegränsad trots att ett minsta förråd av 80 kg N per hektar fanns att tillgå utöver den mängd som skulle räcka till kväveupptaget.

N-Expert beräknade det förväntade kväveupptaget till 32 kg per hektar för Skånegård A och 31 kg för Torslunda för den första perioden (figur 4). För den första perioden angavs en lägre förväntad tillväxt för Skånegård A, 142 ton per hektar, som indata till N-Expert, jämfört med för Torslunda, 170 ton. Den förväntade tillväxten baserades på uppgifter från odlaren och försöksdata på förhållandet mellan mängden skörderester och mängden skördade huvuden. Värdet ökades till 170 ton för period 2-4 efter bedömning av vitkålens utveckling under period 1 på de båda platserna. Lägre indata för tillväxt men något längre period gav ungefär samma värde för upptaget på de båda platserna.

Minsta förråd utöver det som behövs för tillväxten angav N-Expert till 80 kg N per hektar för period 1. Rekommendationen från N-Expert är representerad med pilar i

figur 4. Den högre tillgången för N-Expert-ledet på Skånegård A jämfört med Torslunda beror på större kväveleverans från marken. Mer kväve tillfördes i jämförelseleden på båda platserna. På Skånegård A tillfördes 159 kg N per hektar enligt gängse praxis vilket resulterade i 233 kg N fanns att tillgå per hektar. Men den stora kvävetillgången ökade kväveupptaget med endast 7 kg per hektar jämfört med upptaget i N-Expert gödslat led och var dock med all sannolikhet mer än väl i överkant. Mineralkväveförrådet i marken vid provtagningen i juni var mycket stort. Den större kvävetillgången i jämförelseleden ökade tillväxten från 5,3 till 5,4 ton på Torslunda och från 7,2 till 7,8 ton på Skånegård A. Ökningen var dock inte statistiskt signifikant.

Vid provtagningen i juli, 9 veckor efter plantering (efter period 2), var skillnaden större så att tillväxten på båda platserna var cirka 15 % lägre i vitkål gödslad enligt rekommendationerna från N-Expert jämfört med jämförelseleden. Skillnaden var ännu för liten för att vara statistisk signifikant. På Skånegård A blev den rekommenderade kvävetillförseln låg, dels för att det minsta förrådet endast var 20 kg N per hektar, dels för att analysen visade på en stor mängd mineralkväve i marken. På Torslunda tillfördes i N-Expert lika mycket som i gödsling enligt gängse praxis på Skånegård A, men mängden mineralkväve i marken var mycket lägre.

Efter den andra perioden var kväveinnehållet lägre i N-Expert gödslade led på båda platserna. Det beräknade kväveupptaget var ungefär lika stort på de båda platserna (106 och 113 kg per hektar) medan däremot det minsta förrådet av kväve som behövs utöver upptaget angavs till 80 kg på Torslunda och 20 kg på Skånegård A. Orsaken till skillnaden är att period 2 utsträcktes något på Skånegård A för att anpassa gödslingstillfället till då övergödningen brukar göras där. Därmed kom perioden att överskrida gränsen för sex veckor efter plantering då N-Expert ändrar mängden som behövs för förrådet från 80 kg till 20 kg. Vid början av period 2 fanns det 121 kg mineralkväve per hektar (0-60 cm) i marken. Sammantaget fick det till följd att N-Expert rekommenderade endast 34 kg N per hektar jämfört med gängse praxis som var 93 kg N per hektar. Därav följde en lägre tillväxt i N-Expert gödslat led på Skånegård A (figur 2), skillnaden var dock ej signifikant. Trots att tillväxten var lägre och troligen kvävebegränsad återstod 48 kg N per hektar (0-60 cm) vid slutet av period 2. Det kan jämföras med att profilen tömdes ned till 18 kg N per hektar vid slutskörden av vitkål gödslad enligt gängse praxis. Återstår 30 kg N per hektar som vitkålen inte kom åt.

Kväveupptaget i N-Expert gödslat led på Torslunda under period 2 var något större än vad N-Expert beräknade, trots detta var tillväxten lägre (ej statistiskt signifikant) än vitkål som inte var kvävebegränsad. Beräkningarna gjordes med version 1.3 på båda platserna för period 1 och 2. Hade beräkningen gjorts med version 1.33 skulle N-Expert ha beräknat 55 kg N per hektar större upptag under period 1 och 2 (tabell 3).

Efter den tredje perioden, i slutet av augusti, var tillväxten fortfarande cirka 15% lägre på Torslunda och nu statistiskt signifikant. Skillnaden hade minskat på Skånegård A. Tillförseln för period 3 blev låg på Torslunda eftersom beräkningarna gjordes med den senare versionen av N-Expert (1.33), som fördelar relativt mer av upptaget till den tidigare delen av odlingsperioden (tabell 3). Summan av det beräknade kväveupptaget för period 1 och 2 med 1.3 och period 3 med 1.33 blev 313 kg N per hektar jämfört med 380 och 368 kg N per hektar med version 1.3 respektive 1.33 var för sig.

Den första perioden hade beräknats med version 1.3. Fram till slutskörd ökade skillnaden ytterligare. Trots att version 1.3 beräknade betydligt större tillförsel i N-Expert ledet på Skånegård A för period 3, 211 kg N per hektar kunde eftersläpningen i

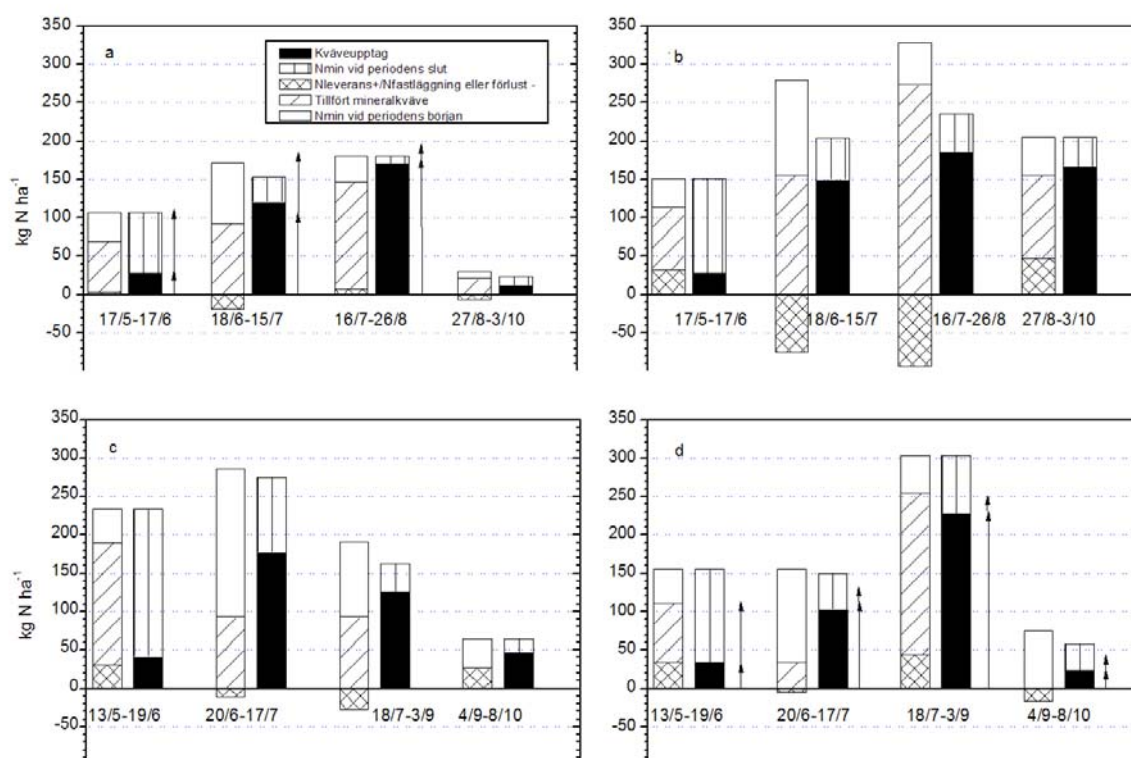
tillväxt inte återhämtas. Mineralkväveförrådet var lågt i slutet av period 3 på Torslunda Försöksstation. Därför tillfördes extra kväve för period 4 trots att det inte var planerat så ursprungligen.

På Skånegård A återstod vid slutskörd 18 kg mineralkväve per hektar efter vitkål som var gödslad enligt gängse praxis och 36 kg där vitkålen hade gödslats efter N-Expert (figur 4). Den betydligt större tillförseln i juli efter rekommendationerna från N-Expert resulterade i mer restkväve vid slutskörd.

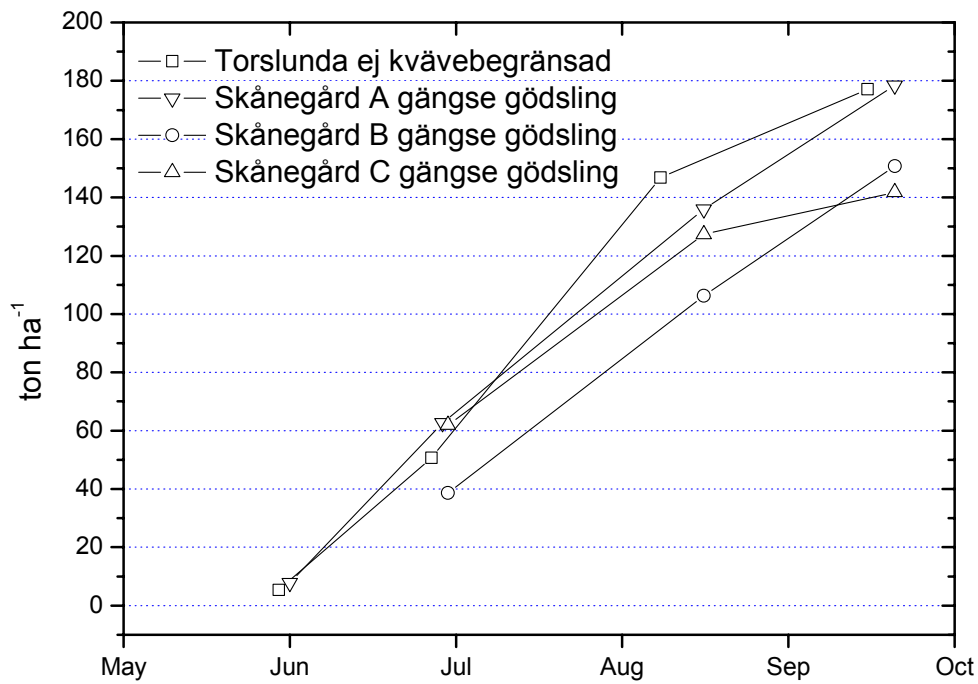
Vitkålen i den försöksmässiga strategin tog upp kväve trots att kväveinnehållet redan var högt i plantan. Mängden mineralkväve i marken minskade därför och blev kompletterat varje vecka. Växtanalyserna visade sedan att det fanns ett överskott i växten (figur 3 och 6). Den totala tillförseln blev mycket hög (tabell 2).

Tillväxt i den kommersiella odlingen

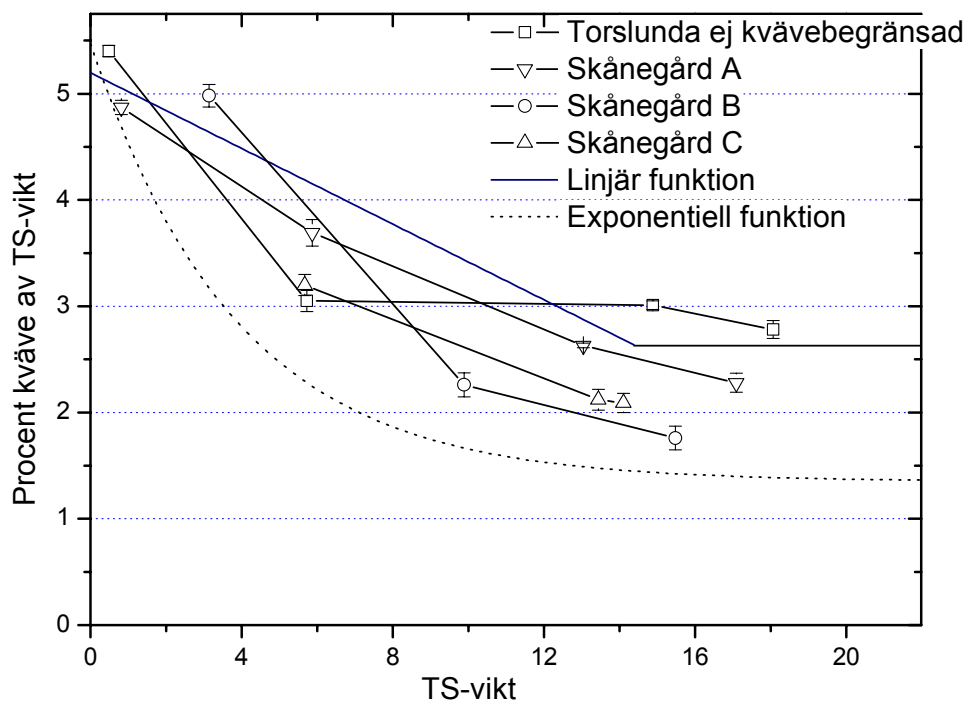
Tillväxten i de kommersiella vitkålsfälten på Skånegård A och C följdes relativt väl åt under period 2 och 3, figur 5. Skånegård C tappade i tillväxt under september månad. Den sista övergödningen, period 4 i tabell 2, gjordes den 24 september. Koncentrationen av kväve i plantan var dock inte lägre än på Skånegård B (figur 6),



Figur 4. Kvävebalanser för varje period mellan provtagningarna för de olika gödslingsstrategierna 2002: a) N-Expert Torslunda, b) Ej kvävebegränsad Torslunda c) Gängse praxis Skånegård A, d) N-Expert Skånegård A. Vänsterstapeln anger mängden tillgängligt kväve vid periodens början och högerstapeln anger mängden upptaget kväve samt restkväve vid periodens slut. Pilarna indikerar gödslingsrekommendationer från N-Expert, den undre kväveupptaget och den övre minsta erforderligt förråd utöver upptag.



Figur 5. Tillväxten i kommersiell odling på Skånegård A-C och den ej kvävebegränsade på Torslunda Försöksstation.



Figur 6. Koncentrationen av kväve i vitkål vid olika TS vikt i de kommersiella vitkålsfälten och i ej kvävebegränsad vitkål på Torslunda. Kurvor utan symbol anger varför minskningen i tillväxt inte verkar bero på kvävebrist.

Enligt lantbrukaren blev det torrt på sensommaren och det av väderprognoserna utlovade regnet uteblev varför det hann bli torrt i marken innan vitkålen blev bevattnad. Skånegård B planterades senare och tog aldrig igen försprånget på de andra platserna. Bortsett från dessa årets avvikelser på Skånegård B och C tyder tillväxten på att samma produktion skulle kunna uppnås på alla platserna. Resultaten tyder på att 180 ton tillväxt av växande gröda vid slutskörd generellt är en rimlig målsättning för medelsena till sena sorter med en utvecklingstid på ungefär 130-145 dagar. kritisk gräns, den exponentiella enligt Greenwood m.fl. (1989) och den linjära enligt Greenwood m.fl. (1996).

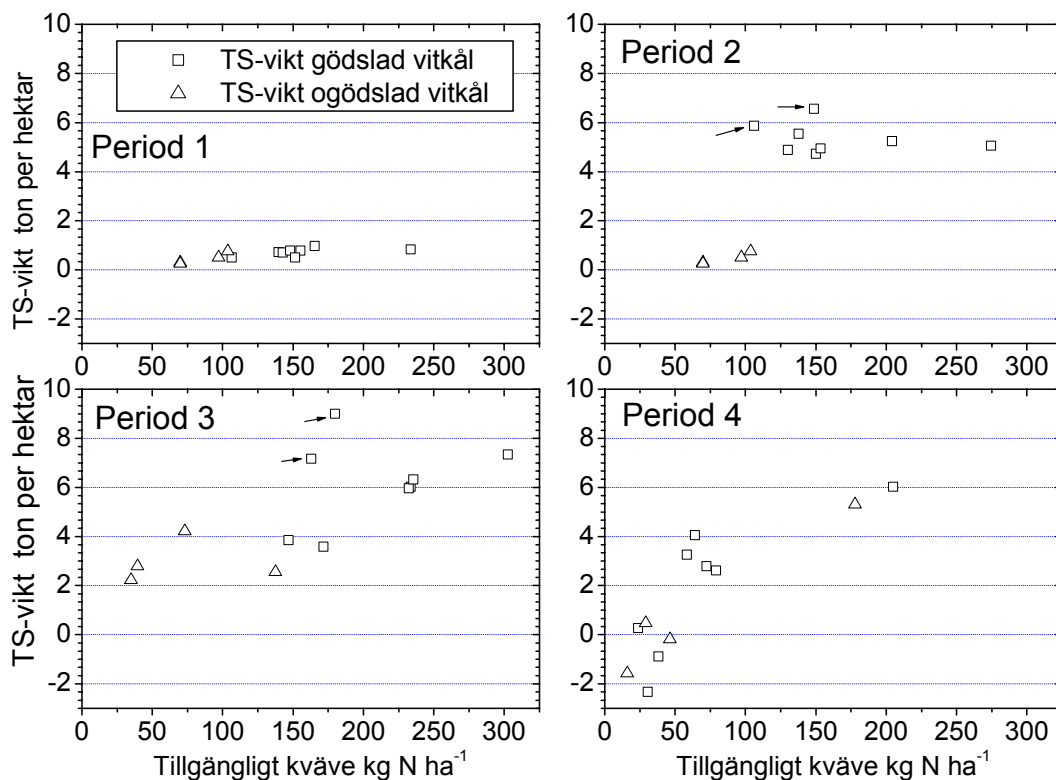
Tillväxt och kväveupptag i relation till kvävetillgång i samtliga försök

Tillväxten under perioderna 1-3 nådde ett ”tak” där tillväxten inte ökade med ökade kvävetillgång (figur 7). Under period 1 var den maximala tillväxten strax under 1 ton TS-vikt, under period 2: 5-6 ton och under period 3: 6-7(9) ton. De två avvikande punkterna vid 4 ton under period 3 är de båda gödslade behandlingarna från 2001. I slutet av period 3 är den totala produktionen således ungefär 13 ton TS-vikt. För att nå upp till maximal produktion, 17-18 ton, måste tillväxten måste nå upp till 4-5 ton under september månad. Endast i 2 fall nådde tillväxten över 4 ton. Den största variationen i tillväxt uppstår under period 4. Svårigheten att nå full produktion beror således ofta på att tillväxten sackar efter under september månad. Den förväntade tillväxten för de enskilda perioderna framgår inte av N-Expert, varför det inte går att jämför beräknade värden med fältdata.

Den maximala tillväxten under period 1 var 0,8-1,0 ton TS-vikt. Skillnaden mellan kvävetillgång och kväveupptag var för tillväxt större än 0,8 ton alltid över 100 kg N per hektar. Det fanns ingen datapunkt som visar att maximal tillväxt kunde uppnås med ett minsta förråd mindre än 80 kg N per hektar, vilket är den mängd som N-Expert föreslår måste finnas i marken utöver det förväntade upptaget. För motsvarande beräkning under period 2 för tillväxt inom maximalområdet vid lägsta kvävetillgång, punkten 5,6 ton vid 106 kg kvävetillgång, var skillnaden 21 kg N per hektar, se pil i figur 7 för period 2. Vid den högsta tillväxten, 6,6 ton vid 149 kg kvävetillgång var skillnaden 19 kg. Den maximala tillväxten kunde alltså uppnås vid ett minsta kväveförråd utöver det som åtgår för upptaget som stämmer väl överens med det som N-Expert föreslår, 20 kg N per hektar. För motsvarande punkter under period 3 var skillnaden 9 respektive 38 kg N per hektar, se pil i figur 7 för period 3. Det finns dock ingen anledning att ett högre minsta förråd skulle krävas senare under säsongen jämfört med tidigare.

Variationen av tillväxten med kvävetillgången var större än för sambandet mellan kväveupptag och kvävetillgång. Kväveupptaget var relaterat till kvävetillgången i marken i samtliga perioder, $R^2 = 0,94 - 0,97$ (figur 8). Antingen tillväxten redan var optimal eller begränsad av någon annan orsak än kvävebrist så tog vitkålen upp det kväve som fanns. Kurvorna skär x-axeln vid x som är större än noll när kväveupptaget är noll. Kvävetillgången är större än motsvarande kväveupptag. Skillnaden kan anses svara till det kväveförråd i marken som enligt N-Expert krävs utöver upptaget. Skärningspunkten med x-axeln var för period 1-4: 45,4, 24,9, 16,4 respektive 22,1 kg N per hektar. Värden för period 2-4 stöder det värde som används av N-Expert 1,3, 20 kg N per hektar. För period är 45,4 kg närmare 40 kg som används av N-Expert 1.33 än 80 kg som används av N-Expert 1.3.

Försöket var inte primärt upplagt för att bestämma förrådet av mineralkväve som behövs utöver upptaget. Värdena baseras på data från nollrutorna. Det skulle behövs kvävenivåer i flera steg för att få bättre precision i skärningspunkten med x-axeln.

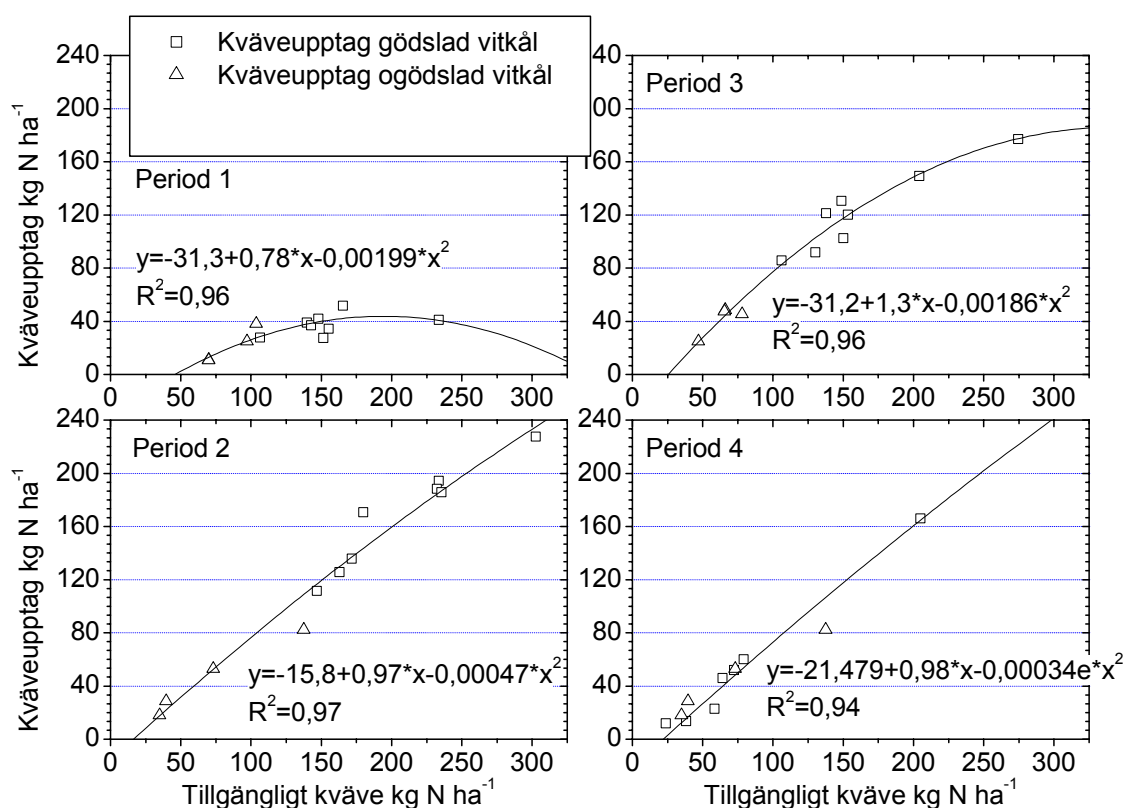


Figur 7. Tillväxt under period 1-4 vid olika kvävetillgång för samtliga försök och försöksbehandlingar där markprovtagning gjordes. Pilarna hänvisar till de datapunkter som använts i texten för att diskutera nivån på det minsta förrådet av kväve som behövs utöver upptaget.

Den förväntade kväveupptaget var också relaterat till fältdata på kväveupptag för åren 2001 - 2002 (figur 9).

Bestämning av indata för mängden växande gröda vid slutskörd

Information om mängden växande gröda vid slutskörd behövs som indata till N-Expert. Denna parameter har stor inverkan på gödslingsrekommendationerna. Men odlaren har endast kännedom om mängden skördad produkt. Data på förhållandet mellan mängden vitkålshuvuden som skördas från fältet och mängden växande gröda vid skörd behövs därför för att få rätt indata till N-Expert. Data enbart från fältförsök är inte helt jämförbara med förhållandena i ett större fält. Utgångspunkten för beräkning av gödslingsrekommendationer ska vara att varje planta ska få den tillförsel av växtnäring som behövs för att inte brist ska uppstå. Den mängd skördad produkt som odlaren uppskattar är däremot ett genomsnitt för hela fältet vilket inbegriper ett visst svinn. Det kan bero på att det blir luckor om man missar vid planteringen, att plantor skadas av angrepp eller körspår vid bevattning, bekämpning och övergödning. Skörderesterna från bortputsning av ytterblad måste räknas ifrån mängden vitkål i växande gröda. För att få ett underlag till att uppskatta tillväxten i fält från odlarens uppgifter på skördad produkt jämfördes därför tillväxten i fält mätt i provrutor med mängden skördad produkt, som uppskattades av odlarna på de tre Skånegårdarna A-C (tabell 4).



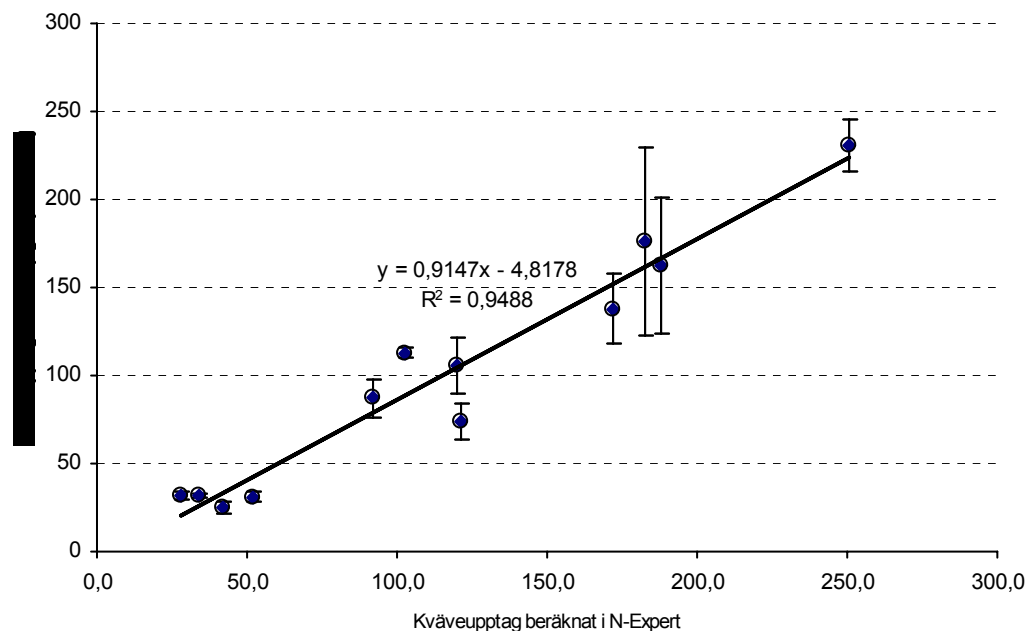
Figur 8. Kväveupptag under period 1-4 vid olika kvävetillgång för samtliga försök där bestämning av mineralkväve i marken gjordes.

Med hjälp av data från tabell 4 föreslås att tillväxten av växande gröda kan uppskattas som en faktor 1,9 gånger den skördade mängden huvud som odlaren uppskattar förs bort från fältet. Denna uppgift är en förutsättning för att kunna använda N-Expert för gödslingsrekommendationer. Förhållandet mellan mängden skördade huvud och mängden skörderester är sortberoende. Det finns variation i svinnet mellan olika fält. För fält- och sorts specifika data vore det en god idé att uppskatta faktorn provvägning på några ställen i fältet.

Tabell 4. Förhållandet mellan mängden växande gröda i fält vid slutskörd och mängden skördad produkt uppskattad av odlarna.

	Skörd i provrutor oputsat (ton/ha)	Skörd i provrutor putsat (ton/ha)	Skörd i provrutor putsat %	Uppskattning från lantbrukarna (ton/ha)	Svinn %
Skånegård A	178	109	61	97	11
Skånegård B	151	90	60	*	*
Skånegård C	142	76	54	68	11

* Uppgift saknas



Figur 9. Samband mellan förväntat kväveupptag och fältdata på kväveupptag från försöksbehandlingarna gödslade enligt rekommendationer från N-expert 2001 och 2002.

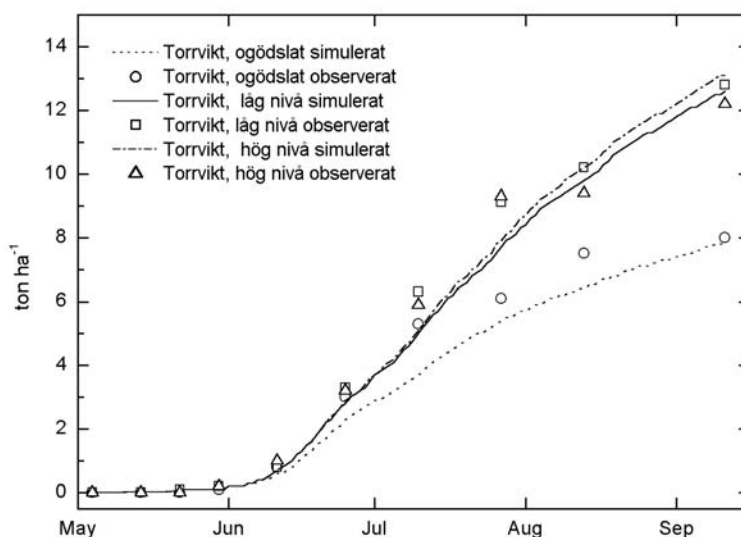
Simulering i N_ABLE

Resultatet av simulering i N_ABLE jämfört med fältdata visas i figur 10-12. Markens kväveleverans var hög i början av säsongen, vilket troligvis beror på mineralisering av skörderester från föregående år. Uppgifter på mängder och kvävehalter i de nedbrukade skörderesterna av förfrukten saknas. Mängd och kvävekoncentration uppskattades så att mineraliseringen i början av odlingssäsongen kalibrerades mot ackumulerat kväve i mark och gröda vid första provtagningen. Uppgift på basmineraliseringen som indata till N_ABLE beräknades ur medelvärdet av markens kväveleverans mellan de senare provtagningstillfällena. Potentiell skörd inklusive skörderester sattes till 17 ton TS per hektar.

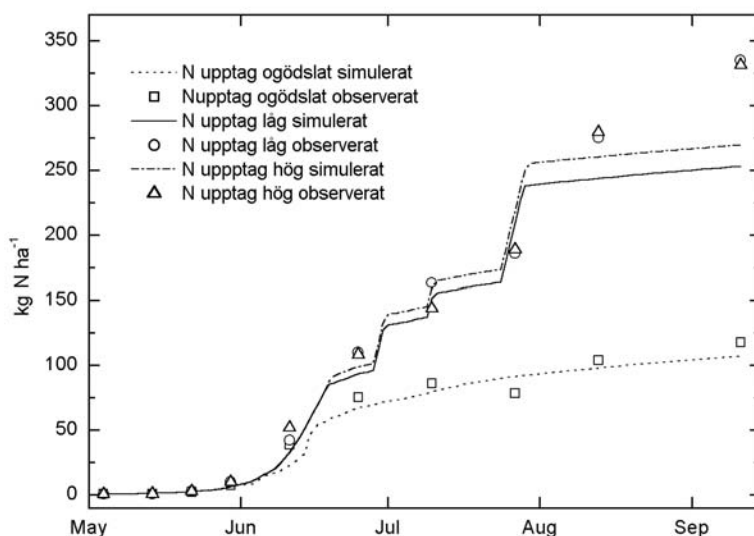
Vid simulering med grundinställningarna av parametervärden underskattades tillväxt och kväveupptaget mycket i början av säsongen. Värdet på den parameter (WLRT, Greenwood *et al.* (1996)), som anger när grödan kommer åt allt kväve vertikalt i marken, minskades därför från 4 ton TS till 1 ton TS. Det innebär att när grödan har växt till motsvarande 1 ton TS per hektar är allt kväve mellan raderna tillgängligt för grödan. Det finns en annan parameter (KM, Greenwood *et al.* (1996)) i N_ABLE som påverkar åtkomligheten av markens mineralkväve. Parametern ingår i en funktion som påverkar så att kväveupptaget blir lägre ju mindre mängd mineralkväve som finns i marken. Erfarenheten från detta försök och andra likande försök visar emellertid att tillväxt och kväveupptag i ogödslad och otillräckligt gödslad gröda snarare följer samma förlopp som en gröda som är välförsedd med

kväve ända till dess att mineralkväveförrådet börjar sänkas till en viss miniminivå. Då klingar tillväxten av ganska snabbt. Denna funktion i N_ABLE måste därför ifrågasättas. Tyvärr är det inte möjligt att påverka parametern KM i den använda versionen av programmet.

Efter kvävetillförsel under säsongen försvann enligt simuleringen det tillförda kväve inom några få dagar. De simulerade dagliga kväveupptagen var då orimligt höga. Kväveupptaget ökar trappstegsformat (figur 3) och mineralkväveförrådet visar smala höga toppar efter varje tillförsel (figur 4). Enligt Greenwood *et al.* (1996) ekvation 6, ska det finnas en maximigräns för det dagliga kväveupptaget. Det verkar dock inte som den använda versionen av programmet följer denna maximigräns. Den kritiska gränsen för kvävekoncentrationen där tillväxten begränsas är troligtvis för hög vilket bidrar till att det dagliga upptag överskattas. Riley och Guttormsen (1999) har visat att kvävekoncentrationen i vitkål i norska försök låg under denna gräns även vid givor som troligtvis var överoptimala.



Figur 10. Torrsubstansvikt, simulerat i N_ABLE (linjer) och efter provtagning och analys (symboler) för ogödslad vitkål samt vid två olika tillförselnivåer.



Figur 11. Kväveupptag, simulerat i N_ABLE (linjer) och efter provtagning och analys (symboler) för gödslat vitkål samt vid två olika tillförselnivåer.

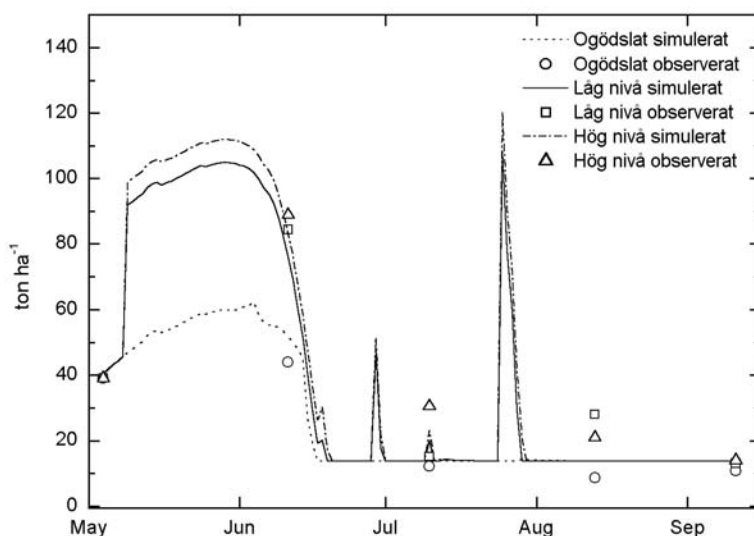
N_ABLE beräknar vattenflödet i markprofilen och nitratkoncentrationen i markvattnet. Enligt beräkningarna var utlakningen noll kg ur profilen under 90 cm hela odlingssäsongen.

N_ABLE simulerar kvävetillgången och kväveupptag dynamiskt med hänsyn till temperatur och nederbörd. I de flesta fall bevattnas köksväxter varför reduktion i tillväxt och mineralisering till följd av torka inte är något problem. N_ABLE ger därför möjligheter att följa kvävetillgången på ett fält utan att följa upp med provtagning av mineralkväveförrådet. Rätt värden på potentiell tillväxt och på markens kväveleverans vid en viss genomsnittlig marktemperatur behövs för att hamna rätt. Det bästa sättet att uppskatta markens kväveleverans är genom nollrutor för den aktuella grödan. Nollrutor kombinerat med temperaturmätning från ett år skulle kunna tjäna som referensvärde för det aktuella skiftet även under flera efterföljande år.

Diskussion

Det kan finnas flera orsaker till skillnaderna mellan vitkålen som gödslades enligt rekommendationer från N-Expert och jämförelseleden. Odlingssäsongen var varm vilket innebar goda förutsättningar för hög produktion. Tillväxtpotentialen var cirka 5% högre än den tillväxt som angavs som indata till N-Expert.

I början av sin utveckling verkar plantorna kunna svara på att minsta förrådet utöver upptag är större än 80 kg N per hektar, vilket användes av N-Expert i de aktuella beräkningarna. Den stora tillförseln enligt gängse praxis på Skånegård A var dock med all sannolikhet mer än väl i överkant. Det fanns ett stort mineralkväveförråd i marken vid provtagningen i juni. Risker är stora för denitrifikation och utlakningen om det skulle komma stora nederbördsmängder under denna period. Men å andra sidan gör ändringen av detta värde ner till 40 kg N per



Figur 12. Mineralkväve i marken (0-30 cm), simulerat i N_ABLE (linjer) och efter provtagning och analys (symboler) för gödslad vitkål samt vid två olika tillförelsnivåer.

hektar i den senare versionen av N-Expert (1.33), att rekommendationerna med all sannolikhet leder till att vitkålen blir kvävebegränsad i början av utvecklingen. Vid bredspridning svarar plantan på tillförelse som är flerfaldigt större än behovet. Det beror på att den bara kommer åt en liten del av den tillförda mängden, eftersom rötterna inte når så långt ut från plantan helt i början. Om växtnäringen vid första tillförelsetillfället i stället radmyllas, skulle plantans behov kunna tillgodoses med en mycket mindre mängd tillförd växtnäring. Det finns dock inte speciella

rekommendationer för radmyllning. Radmyllning kan komplicera efterföljande jordprovtagning eftersom växtnäringen då finns ojämnt fördelad i marken.

Kvävebehovet under period 2 var större än vad N-Expert beräknade. Kvävetillgången blev större på Torslunda jämfört med på Skånegård A tack vare att minsta förrådet utöver upptag var 80 kg N per hektar. Det behöver inte betyda att det verkligen behövs så mycket, att orsaken till den otillräckliga kvävetillgången under period 2 är att minsta förrådet utöver upptag behöver vara 80 kg N per hektar.

Rötterna når då hela matjordsvolymen. Uppskattningarna från jämförelserna mellan kvävetillgång och tillväxt och kväveupptag (figur 7 och 8) tyder på att 20 kg N per hektar skulle räcka som minsta förråd utöver upptag efter de sex första veckorna efter plantering (period 2-4). En osäker faktor är däremot huruvida rötterna har nått ner till det djup som beräkningarna i N-Expert förutsätter och därmed kan nå den mängden som fanns tillgänglig. Att 50 kg N (0-60 cm) på Skånegård A återstod vid slutet av andra perioden trots att kvävetillgången var otillräcklig tyder på att allt inte var åtkomligt för rötterna. Att dessa 50 kg inte var åtkomliga kan vara en delförklaring till att rekommendationerna från N-Expert underskattade behovet. I N-Expert finns ingen möjlighet att sätta en gräns för hur djupt rötterna kan nå. Den möjligheten finns i N_ABLE. Ytterligare en faktor kan vara att kväveupptaget underskattades. Det faktum att fördelningen av kväveupptaget ändrades i version 1.33 så att förhållandevis

mer tas upp tidigare under säsongen tyder på att kväveupptaget underskattades i den tidigare versionen 1.3.

Under period 3 och 4 blev tillförseln mindre på Torslunda Försöksstation jämfört med på Skånegård A beroende på att olika versioner av programmet användes. På Torslunda Försöksstation blev tillförseln låg eftersom version 1.3 användes för den andra perioden och version 1.33 för den tredje perioden. På Skånegård A blev rekommendationen högre eftersom version 1.3 fortsatt användes för beräkning för period 3. Trots den höga tillförseln kunde inte tillväxten återhämta försprånget för den som odlats enligt gängse praxis.

Även 2001 under period 3 och 4 underskattades upptaget. Till det bidrog även att gödslingen försenades på grund av att analys svaret från laboratoriet fördröjdes så att tillförseln för period 3 och 4 försenades.

Försöksresultaten ger information om den potentiella tillväxten för medelsen-sen vitkål genom hela odlings säsongen genom den försöksmässiga strategin som ej var kvävebegränsad. Med information om det kritiska kväveinnehållet under vilken tillväxten är kvävebegränsad skulle det var möjligt att beräkna ett optimalt kväveupptag genom hela odlings säsongen. Det finns i litteraturen två olika uppgifter för det kritiska kväveinnehållet (figur 3 och 6). Den linjära ekvationen (1) tycktes överskatta det kritiska kväveinnehållet under vilken tillväxten är kvävebegränsad. Å andra sidan tycktes den exponentiella ekvationen (2) underskatta det kritiska kväveinnehållet. Iakttagelserna stöds av en norsk undersökning där vitkål odlades vid flera nivåer av kvävetillförsel så att det kritiska kväveinnehållet för vitkål kunde bestämmas från den brytpunkt där TS-vikten inte längre ökar vid ökad kvävetillgång (Riley och Guttormsen, 1999). De lyckades inte bestämma det kritiska kväveinnehållet i början av säsongen varför det ännu inte finns någon pålitlig bestämning av det kritiska kväveinnehållet för hela säsongen. Det finns ingen dokumentation för dataunderlaget för N-Expert som visar hur det optimala kväveupptaget har tagits fram. Det finns inte nu i litteraturen någon entydig kurva för den kritiska kvävekoncentrationen för vitkål. Data i denna undersökning och resultaten från Riley och Guttormsen (1999) pekar åt samma håll, att den kritiska koncentrationen ligger något högre än den exponentiella kurvan (Greenwood m.fl., 1989). Justes *et al.*, (1994) presenterade en metod att bestämma den kritiska koncentrationen för vete. Den metoden skulle även kunna tillämpas på andra grödor som exempelvis vitkål.

Den maximala TS-vikten i den norska undersökningen var 19,3 ton per hektar, alltså 1-2 ton över den största tillväxten i denna undersökning. Det kritiska kväveinnehållen var 1,6 % kväve vid slutskörden vilket motsvarar ett kväveupptag på 309 kg per hektar. Det antyder att ytterligare optimering skulle vara möjlig jämfört med de redovisade kväveupptagen i denna undersökning (tabell 2).

Lämpliga indata på tillväxt av växande gröda vid slutskörd för produktion av vitkål under goda betingelser för är 180-190 ton per hektar enligt resultaten i försöket. Det bekräftas av tillväxten i det norska försöket. Avkastningen gäller medelsena och sena höstsorter med utvecklingstid 130-145 dagar. Valet av lämpliga indata bör emellertid ta hänsyn till produktionspotentialen på den aktuella platsen. Odlaren vet vilken mängd som har skördats från fältet. Multiplikation av mängden skördad produkt som förs bort från fältet med en faktor 1,9 ger motsvarande tillväxt av växande gröda som indata till N-Expert.

Skillnaden i tillväxt mellan olika platser, år och behandlingar var störst i slutet av augusti och under september. För att nå upp till den möjliga produktionen krävs att tillväxtbetingelserna är goda även under september månad.

Tillväxten i båda datorprogrammen är ”låst” till det angivna värdet på indata på tillväxt av växande gröda vid slutskörd. Den slutliga förväntade produktionen bestäms av det angivna värdet. Programmen tar inte hänsyn till att produktionen vid slutskörd styrs av temperaturen under odlingsäsongen. N_ABLE fördelar tillväxten under säsongen så att tillväxten ökar vid ökad temperatur men att den klingar av för att nå en produktionsnivå som helt bestäms av indata. Det skulle vara möjligt att justera kvävetillgången efter hur säsongen har varit genom ytterligare en provtagning sent under säsongen, förslagsvis under andra halvan av augusti. Det skulle ge möjlighet att undvika restkväve i marken om tillväxten har varit dålig och det ger å andra sidan möjlighet att komplettera för god tillväxt under september om kväveförrådet redan skulle vara tömt.

Förutom data på förväntad tillväxt behövs information om markens kvävelevererande förmåga som indata för beräkningarna. För N-Expert anges en grov uppskattning i låg, medel och hög kväveleverans. För N_ABLE anges en siffervärde i kg N per hektar och dag. Uppgiften gäller grundmineraliseringen från markens humus. Kväveeffekten från skörderester beräknas för sig och läggs till kväveeffekten från markens humus. Effekter av skörderester studerades inte i detta försöket. Data på markens kväveleverans till simuleringen i N_ABLE kom från nollrutorna. Nollrutor är ett bra sätt att lära känna jorden och uppskatta dess egen produktionsförmåga. Nollrutor har börjat användas i odling av vete för att förbättra precisionen i odlingen (Bertilsson, 1999; Fällman, 2002). Ofta ingår spannmål i växtföljden där köksväxterna odlas. Om metoden används metodiskt under några år får odlaren kännedom om sina skiften och variationerna i kväveleverans vid olika förfrukt och årsmån. Odlaren får en uppfattning om skiftena bördighet som kan vara vägledande även för andra grödor så länge fälttest i nollrutor inte är utarbetade för dessa grödor.

Odlarnas strategier skiljer sig från varandra, det finns inte en generell praxis för vitkålsodling. Vitkålen på Skånegård A fick mycket stor giva direkt före plantering, på Skånegård C å andra sidan gavs det mesta under period 2 och en del väldigt sent. Trots att tillförseln efter rekommendationerna enligt N-Expert blev otillräcklig av de redan diskuterade orsakerna kan tillförseln komma närmare vitkålens behov genom att beakta den kunskap som finns om kvävebehovet under säsongen.

Skillnaden i tillväxt mellan gödsling enligt rekommendationerna från N-Expert och gängse praxis på Skånegård A var inte statistiskt signifikant. Det fanns en synbar skillnad mellan N-Expert och gängse praxis på Skånegård A, vilket enligt odlaren märktes vid skörden, då skördearbetet avancerade snabbare i draget som var gödlat enligt N-Expert. Den lägre skörden i N-Expert ledet, 7 %, motsvarar ett intäktsbortfall av 10 000 kronor per hektar. Skillnaden var ekonomiskt signifikant men inte statistiskt signifikant. Variationskoefficienten var 2,0 % och 5,7 % för de båda behandlingarna, vilket är lågt. För stora skillnader för statistisk signifikans beror alltså inte på att fältvariationen var onormalt stor. För att få resultat som är statistiskt signifikanta krävs ett större antal observationer. Försöken måste upprepas på ett flertal platser, vilket blir kostnadskrävande.

Vitkålens rotsystem har förmåga att tömma markens mineralkväveförråd så att restkvävet blir lågt. Skörderesterna lämnar stora mängder kväve kvar på fältet. Om 325 kg N per hektar tas upp och 40 % av växande gröda vid slutskörd är skörderester så innehåller skörderesterna 130 kg N per hektar. Detta kväve är lättomsättbart och börjar frigets när grödan vissnar. Skördetekniken har stor betydelse för vad som kommer att hända. Om det gick att skörda så att bladverket lämnas intakt skulle nedbrytningen fördröjas samtidigt som grödan i viss mån fungerar som fånggröda och en större del skulle kunna utnyttjas av påföljande gröda. Om å andra sidan bladverket

blir avskuret eller nerkört av maskiner påbörjas frigörelsen av kväve och en stor del kan komma att förorena grund- och dräneringsvatten. Omfattningen kommer att bero på temperatur och nederbördsmängder under vintern.

Slutsatser

Rekommendationerna från N-Expert underskattade kvävebehovet för vitkål i jämförelser dels med den gängse strategin på ett vitkålsfält i Skåne och jämfört med en försöksmässig gödslingsstrategi som garanterade att tillväxten inte var kvävebegränsad. Resultaten pekar på fyra orsaker som samverkade till att kvävebehovet underskattades

1. Sommaren var mycket varm och tillväxtpotentialen var högre än den förväntade, vilken programmets beräkningar baserades på.
2. Beräkningarna i N-Expert, version 1.3, baseras på att den minsta mängd kväve som måste finnas i marken utöver det som går åt för upptaget är 80 kg N per hektar. Vitkålen verkar kunna svara på en större mängd helt i början av sin utveckling. Minskningen till 40 kg N per hektar i version 1.33 verkar därför vara ett steg i fel riktning.
3. Det optimala kväveupptaget i början av säsongen underskattades i version 1.3. Detta har höjts i version 1.33.
4. Allt mineralkväve som fanns i profilen 0-60 cm var troligen inte åtkomligt för rötterna. Slutsatsen baseras dock inte på mätning av rotdjupet, utan av att profilen vid nästa provtagning inte var helt tömd.

Indata på mängd växande gröda vid slutskörd rekommenderas till 180-190 ton per hektar. Bortförd mängd skördade huvuden från fältet ska multipliceras med en faktor 1,9 för att få indata på mängd växande gröda vid slutskörd. Rekommendationen baseras på ett begränsat dataunderlag.

Det borde vara möjligt att sätta en undre gräns för rotutvecklingen om man misstänker att den kan begränsas av svårgenomträngliga lager i alven. Om en sådan misstanke föreligger går det att kompensera genom att själv justera beräknade data på mineralkväveinnehållet i alven.

Den största variationen i tillväxt i undersökningarna är under den senare delen av säsongen, i slutet av augusti och september. Avkastning upp till 180-190 ton kräver god tillväxt även under september. Mängden mineralkväve som finns kvar i slutet av augusti är beroende av hur mycket kväve som har tagits upp och eventuellt förlorats ditintills under säsongen. Uppföljning med provtagning av markens mineralkväve i mitten av augusti skulle därför kunna justera tillgången av kväve i marken i förhållande till resterande potentiell tillväxt.

Även om rekommendationerna från N-Expert i de utförda försöken var för låga torde det finnas möjligheter att utveckla och justera beräkningarna baserat på de erfarenheter och tester som görs. Detsamma gäller för N-Expert. Det är ett betydande utvecklingsarbete som ligger bakom datorprogrammen, men en del ytterligare justeringar och tester verkar krävas innan datorprogrammen är tillräckligt pålitliga för god odlingssäkerhet.

Referenser

- Bertilsson, G. 1999. Hydro Nollruta – Ett nytt hjälpmedel för att bestämma markens kväveleverans. *Växtpressen Hydro Agri*, februari, **14**.
- Burns, I.G. 1974. A model for prediction of the redistribution of salts applied to fallow soils after excess rainfall or evapotranspiration. *Journal of Soil Science*, **25**, 165-178.
- ENVEG. <http://www.hri.ac.uk/enveg/>

- Fink, M. och Scharpf, H.C. 1993. N-Expert – A Decision support System for vegetable fertilisation in the field. *Acta Horticulturae* **339**, 67-74.
- Fogelfors, H. 2001. Växtproduktion i jordbruket. *Nature och Kultur/LTs förlag*, s. 244.
- Fällman, A. Enkelt fälttest betygsätter gödslingen. *Lantmannen*, **9**, 32-33.
- Greenwood, D.J. och Draycott, A. 1989. Experimental validation of an N-reponse model for widely different crops. *Fertilizer Research*, **18**, 153-174.
- Greenwood, D.J. Neetesoon, J.J., Draycott, A., Wijnen, G och Stone, D.A. 1992. Measurement and simulation of the effects of N-fertilizer on growth, plant composition and distribution of soil mineral N in nationwide onion experiments. *Fertilizer Research*, **31**, 305-318.
- Greenwood, D.J., Rahn, C., Draycott, A., Vaidyanathan, L.V. och Paterson, C. 1996. Modelling and measurement of the effects of fertilizer-N and crop residue incorporation on N-dynamics in vegetable cropping. *Soil Use and Management*, **12**, 13-24.
- Justes, E., Mary, B., Meynard, J.-M., Machel, J.-M. och Thelier-Huche, L. 1994. Determination of a Critical Nitrogen Dilution Curve for Winter Wheat Crops, *Annals of Botany*, **74**, 397-407.
- Matthaus, D. och Gysi, C. 2001. Plant-sap analysis in vegetables -- a tool to decide on nitrogen top dressing. Proceedings of the International Conference on Environmental Problems Associated with Nitrogen Fertilization of Field Grown Vegetable Crops Potsdam, Germany, 30 August to 1 September 1999. Eds: C. Rahn, C. M. Fink, *Acta-Horticulturae*, **563**, 93-102.
- Rahn, C.R., Greenwood, D.J. och Draycott, A. 1996. Prediction of nitrogen fertilizer requirement with the HRI WELL-N computer model. In: Progress in nitrogen cycling studies, Eds: Van Cleemput m.fl., Kluweer academic Publishers, The Netherlands, 255-258.
- Riley, H. and Guttormsen, G., 1999. Alternative equations for critical N-concentration in cabbage. *Acta Horticulturae*, **506**, 123-128.
- SCB, 2002, Jordbruksstatistisk årsbok 2002, Statistiska Centralbyrån (SCB).
- Wehrmann, J. och Scharpf, H.C. 1979. Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf (N_{min}-Methode). *Plant and Soil*, **52**, 109-126.

Kontakt

Kommentarer, reflektioner eller synpunkter på undersökningen är välkomna till

Göran Ekbladh,
Sveriges Lantbruksuniversitet,
Institutionen för markvetenskap,
Avdelningen för växtnäringslära,
Box 7014,
S-750 07 Uppsala.
Tel: +46 18 671297
Fax: +46 18 672795
Goran.Ekbladh@mv.slu.se

Slutrapport SJV.doc
2003-03-31
15:33