



Effekt av anpassad fodersammansättning till värphöns på ammoniakkoncentration, äggproduktion, äggkvalitet och befjädring

Erika Ohlsson

Examensarbete • 30 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd
Agronomprogrammet - Husdjur
Uppsala 2024



Effekt av anpassad fodersammansättning till värphöns på ammoniakkoncentration, äggproduktion, äggkvalitet och befjädring

Effect of adapted feed composition for laying hens on ammonia concentration, egg production, egg quality and plumage

Erika Ohlsson

Handledare: Emma Ivarsson, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd
Examinator: Helena Wall, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd

Omfattning: 30 hp
Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E
Kurstitel: Självständigt arbete i husdjursvetenskap
Kurskod: EX0872
Program/utbildning: Agronomprogrammet - Husdjur
Kursansvarig inst.: Institutionen för husdjurens biovetenskaper
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2024
Omslagsbild: Jenny Svernas-Gillner, SLU, 2012-04-04
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Nyckelord: värphöns, olösliga fiber, låg råproteinhalt, aminosyror, ammoniak, äggkvalitet, äggproduktion, befjädring

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap
Institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd

Sammanfattning

Inom svensk äggproduktion är höga ammoniakhalter en stor utmaning och gränsvärdet på 10 ppm ammoniak kan vara svårt att klara i de frigående system som används idag, framför allt under vinterhalvåret. Gasen ammoniak har utöver negativ inverkan på miljö och klimat, även negativa effekter på hälsa, produktion och välfärd hos värphönsen samt hälsa och arbetsmiljö hos djurskötaren. För att minska ammoniakhalterna i stallet finns olika skötselrelaterade åtgärder att tillgå, men även fodersammansättningen har inverkan på ammoniakavgången. Detta examensarbete utfördes som en del av en utfodringsstudie med syfte att minska ammoniakavgången i värphönsstall. Studien genomfördes på Lövsta Lantbruksforskning, Sveriges lantbruksuniversitet. I studien ingick ett foder med minskad råproteinhalt i kombination med ökad andel renframställda aminosyror, ett foder med ökad andel olösliga fiber samt ett foder där dessa anpassningar kombinerades. Syftet med arbetet var att utvärdera vilka effekter den anpassade fodersammansättningen gav på ammoniakkoncentration, äggkvalitet, äggproduktion och befjädring fram till hönsen uppnått en ålder av 40 veckor. Ammoniakkoncentrationen utvärderades genom mätningar i stallet samt genom laboratorieanalys av gödsel. Äggkvalitetsanalys genomfördes på laboratorium när hönsen var 35 veckor. Foderintag registrerades i perioder om 28 dagar under hela försöket, äggvikt registrerades veckovis och antal lagda ägg registrerades dagligen. Exteriörbedömning utfördes när hönsen var 35 veckor.

Resultaten från detta arbete visade att ägg från de höns som ätit foder med minskad råproteinhalt hade en starkare, mer pigmenterad färg på gulan till följd av högre andel majs i fodret. Äggvikten var för samtliga grupper högre än förväntat men en effekt av foderbehandling fanns, där lågproteinfodret gav lägre äggvikt i jämförelse med resterande foder. Inga effekter av foderbehandling fanns på foderintag, foderomvandlingsförmåga och värprocent eller befjädring. Detta tyder på att foderanpassningen är möjlig utan negativ inverkan på produktion och välfärd upp till 40 veckors ålder. Ingen effekt av foderbehandling fanns på ammoniakkoncentrationen mätt i stallet, men en effekt fanns på de gödselprover som analyserades i laboratoriet. Utifrån dessa resultat är det svårt att dra slutsatser kring foderanpassningens påverkan på ammoniakproduktionen.

Nyckelord: värphöns, olösliga fiber, låg råproteinhalt, aminosyror, ammoniak, äggkvalitet, äggproduktion, befjädring

Abstract

In Swedish egg production, ammonia emissions are a big challenge and the limit of 10 ppm ammonia can be hard to manage in the free-range system used nowadays, especially in the winter season. The gas, ammonia, has not only a negative impact on the environment and the climate, but also on the health, welfare, and production of laying hens as well as the health and working environment of the farmers. To reduce the ammonia levels in the stable, there are various management-related measures available, but the composition of the feed also has an impact on the ammonia output. This thesis was conducted as part of a feed trial with the aim of reducing ammonia emissions in laying hen houses. The study was carried out at the Swedish Livestock Research Center, Swedish University of Agricultural Sciences. The study evaluated a diet with decreased crude protein content combined with pure amino acids, a diet with increased insoluble fiber content, and a diet where these adaptations were combined. This thesis aimed to study the effect of the adapted feed composition on ammonia concentrations, egg quality, egg production, and plumage condition until the hens reached the age of 40 weeks. Ammonia concentrations were measured in the stable and laboratory analyses of fresh manure were conducted. Egg quality was evaluated at the laboratory when the hens were 35 weeks old. Feed intake was registered in 28-day periods throughout the whole trial, egg weight was registered weekly, and number of eggs laid was registered daily. Feather scoring was conducted when the hens were 35 weeks old.

The results from this thesis showed an effect of treatment on the yolk colour. Eggs from hens fed the low protein diet had a more pigmented yolk colour due to the higher content of maize in the feed. The eggs from all treatments had a higher weight than expected, but there was an effect of treatment on egg weight, where the low protein diet resulted in lower egg weight compared to the other diets. No treatment effect was found on feed intake, feed conversion ratio, and laying percentage as well feather condition. This suggests that the feed adaptation is possible without negative effects on the production and welfare until the age of 40 weeks. No effect of treatment was found on the ammonia concentrations measured in the stable, but an effect was found on the fresh manure samples analyzed in the laboratory. Based on these results, it is difficult to draw any conclusions about the effect of the feed adaptation on ammonia production.

Keywords: laying hens, insoluble fiber, low crude protein, amino acids, ammonia, egg quality, egg production, plumage

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	7
Figurförteckning	8
Förkortningar	9
1. Inledning	10
2. Litteraturstudie	12
2.1 Värphönsfoder	12
2.1.1 Råprotein och aminosyror	12
2.1.2 Icke-stärkelse polysackarider	13
2.2 Ammoniak	14
2.2.1 Effekt av råprotein	15
2.2.2 Effekt av olösliga fiber	16
2.3 Äggkvalitet	16
2.3.1 Inre äggkvalitet	16
2.3.2 Yttre äggkvalitet	18
2.4 Bedömning av hönans exteriör	20
3. Material och metod	22
3.1 Djurmaterial och inhysning	22
3.1.1 Djurmaterial	22
3.1.2 Inhysning	22
3.2 Foderbehandlingar	23
3.3 Analysmetoder	25
3.3.1 Foder	25
3.3.2 Ammoniak	27
3.3.3 Äggkvalitet och produktion	27
3.3.4 Exteriörbedömning	28
3.4 Statistisk analys	28
4. Resultat	30
4.1 Foderkonsumtion och produktion	30

4.2	Ammoniak.....	31
4.3	Äggkvalitet	33
4.4	Exteriörbedömning	34
5.	Diskussion.....	35
5.1	Foderkonsumtion och produktion.....	35
5.2	Ammoniak.....	36
5.3	Äggkvalitet	37
5.4	Exteriörbedömning	39
6.	Slutsats.....	41
	Referenser	42
	Populärvetenskaplig sammanfattning	48
	Bilaga 1.....	50
	Bilaga 2.....	52
	Bilaga 3.....	54
	Bilaga 4.....	55

Tabellförteckning

Tabell 1. Råvarusammansättning försöksfoder fas 1 & fas 2, per kg foder (%)	24
Tabell 2. Analyserat innehåll av NSP i olika foderråvaror, per kg råvara (%).....	25
Tabell 3. Optimerat och analyserat näringsvärde försöksfoder fas 1 & fas 2	26
Tabell 4. Effekt av foderbehandling och period på foderintag, foderomvandlingsförmåga, äggvikt och värprocent. Medelvärde± standard error.....	30
Tabell 5. Effekt av foderbehandling och mättillfälle på ammoniakkoncentration (ppm) mätt med Kitagawa-pump, totalkväve, ammonium-kväve, organiskt kväve samt andel ammonium-kväve av totalkväve. Medelvärde± standard error.	32
Tabell 6. Effekt av foderbehandling på inre och yttre äggkvalitet	33
Tabell 7. Effekt av foderbehandling på fjäderdräktsbedömning.....	34

Figurförteckning

- Figur 1.** Urea hydrolyseras av enzymet ureas till ammoniumkarbonat. Karbonatjonerna leder till en ökning av pH vilket gynnar omvandlingen av ammonium till ammoniak. Ammoniak avgår till luften medan ammonium och vätekarbonatjoner förblir i ströbädden. 15
- Figur 2.** Schematisk bild som illustrerar värphönsstallet, gruppernas placering samt foderbehandlingarna. Stallets ingång är placerad vid sjukgrupperna 1 & 1823
- Figur 3.** Schematisk bild över blockindelningen inför statistisk analys av ammoniakkoncentration (ppm) mätt med Kitagawa-pump. Stallets ingång är placerad vid sjukgrupperna 1 & 18.....29

Förkortningar

ADF	Acid detergent fibre
NDF	Neutral detergent fibre
NSP	Icke-stärkelse polysackarider
SLU	Sveriges lantbruksuniversitet

1. Inledning

Ägget är det mest näringstäta livsmedel vi har och innehåller majoriteten av de proteiner, fettsyror, vitaminer, mineraler och antioxidanter vi människor behöver (Svenska ägg 2020, 2023). Den svenska konsumtionen av ägg uppgick år 2022 till cirka 14,7 kg ägg per person, en ökning med 11% sedan 1980 (Jordbruksverket 2022). Även globalt ökar efterfrågan och konsumtionen av ägg. Globalt producerades 98 miljoner ton ägg år 2021, en ökning med 68% från år 2000 (FAO 2022). Samtidigt som efterfrågan ökar, ökar också kraven på minskad miljöpåverkan från lantbruket och livsmedelsproduktionen (Jeremiasson et al. 2019).

År 2021 fanns omkring 8,7 miljoner värphöns i Sverige som totalt producerade cirka 111 480 ton ägg, större delen av hönsen hölls i frigående system inomhus (SVA 2022). Övergången från bursystem till de frigående systemen har gett värphönsen möjlighet att röra sig på stora ytor med ströbädd, men har också lett till större ammoniakavgång från äggproduktionen (Jeremiasson et al. 2019). Gödseln sprids över större ytor och lagras till viss del i ströbädden vilket är en bidragande faktor till ökade problem med ammoniakkoncentrationer i stallarna, framför allt under vinterhalvåret. Höga koncentrationer av ammoniak i stalluften försämrar både djurvälstånd och arbetsmiljö samt har negativ påverkan på hälsan både hos djur och människor. Gasen ger vid höga koncentrationer kraftiga irritationer på ögon och slemhinnor samt kan vid inandning ge skador på respirationsorganen (Giftinformationscentralen 2023). Höga ammoniakhalter kan leda till nedsatt äggproduktion, försämrad äggkvalitet och ökat sjukdomstryck vilket kan påverka äggproducenternas ekonomi negativt. Ammoniak kan också skada miljön genom försurning och övergödning (Naturvårdsverket 2023). Att hitta metoder som kan minska ammoniakemissioner från äggproduktionen kan således bidra till förbättrad social, ekonomisk och miljömässig hållbarhet.

Skötselrelaterade åtgärder såsom ventilation, val av strömmaterial och golvvärme kan minska ammoniakhalten i stallet. Likaså påverkas mängden ammoniak som bildas av fodrets sammansättning, exempelvis kan ökad andel olösliga fiber och sänkt råproteinhalt minska ammoniakavgången (Naseem & King 2018). Ammoniak bildas när mikrober bryter ner kväveföreningar i gödseln till urea som vidare hydrolyseras till

ammoniak, den huvudsakliga källan för ammoniak inom fjäderfäproduktion är urinsyra (Ritz et al. 2004). En reduktion av ammoniakavgången kan åstadkommas genom att gynna de bakterier i hönans tarmsystem som bildar flyktiga fettsyror, därmed ökar andelen flyktiga fettsyror i gödseln och således sänks pH i ströbädden vilket minsakar ammoniakavgången (Roberts et al. 2007). Bakterierna omvandlar även kväve till mikrobiellt protein som är mer stabilt än urinsyra. Dessa bakterier gynnas genom ökad andel olösliga fiber i fodret. Eftersom mängden kväve i träcken påverkas av mängden protein i fodret, kan även en sänkning av fodrets råproteinhalt leda till minskad mängd ammoniak i stallet (Naseem & King 2018). För att tillgodose värphöns aminosyrabehov vid sänkt råproteinhalt kan renframställda aminosyror användas. Antalet renframställda aminosyror som finns tillgängliga på marknaden ökar och det blir alltmer ekonomiskt försvarbart att öka inblandningen av dessa.

I en pågående utfodringsstudie med värphöns på Lövsta Lantbruksforskning, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) testas foder med minskad råproteinhalt i kombination med ökad andel renframställda aminosyror samt ökad andel olösliga fiber. Förhoppningen är att foderanpassningen kan bidra till sänkt ammoniakavgång utan att ge negativa effekter på produktion, dödlighet och befjädring. Syftet med detta examensarbete är att utvärdera den anpassade fodersammansättningens effekter på ammoniakkoncentration, äggkvalitet, äggproduktion och befjädring. Datainsamlingen för examensarbetet är begränsad till den period då värphönsen är 20–40 veckor gamla.

2. Litteraturstudie

2.1 Värphönsfoder

Foder till värphöns består vanligen av 50–60% spannmål (Elwinger 2013). Majs är en vanlig huvudråvara i många delar av världen, men i Sverige används huvudsakligen inhemskt odlad spannmål såsom vete då priset på majs är högre. Spannmålen bidrar framför allt med energi till foderblandningen, men också en del protein. Cirka 50% av värphönans proteinbehov kan uppfyllas av spannmålen. Tabellvärden över näringsinnehåll i olika foderråvaror anger att vete innehåller 113 gram protein per kilogram (kg) foder medan majs innehåller 87 gram protein per kg foder (Freefarm 2024). Utöver spannmål är proteinråvaror som sojamjöl, rapsmjöl och ärter vanligt i svenska fjäderfäfoder (Elwinger 2013).

2.1.1 Råprotein och aminosyror

Rekommendationer kring värphönans dagliga behov av råprotein är baserat på aminosyrabehovet som påverkas av produktionsstadiet, kroppsvikt, tillväxtfas och genetik (National Research Council 1994). Av de 22 fysiologiskt essentiella aminosyrorna kan 10 aminosyror inte syntetiseras alls eller i tillräcklig mängd av fjäderfä och behöver finnas tillgängliga i fodret (Elliot 2008). Den första begränsande aminosyran för fjäderfä är metionin, följt av lysin och treonin. Metionin har stor inverkan på äggproduktion och äggvikt (Elliot 2008). En tillräcklig mängd lysin är viktigt för att upprätthålla hönans immunsystem och mag-tarmkanalens funktion, likväl har ökad mängd av aminosyran gett positiva effekter på äggproduktion och foderintag (Macelline et al. 2021). Den tredje begränsande aminosyran, treonin, inverkar på produktionen av antikroppar och mucin i tarmen, därmed är även denna aminosyra viktig för hönans immunsystem. När behovet av metionin, lysin och treonin uppfylls kan i stället andra aminosyror som tryptofan, isoleucin och arginin bli begränsande (Elliot 2008). Genom ökad inblandning av renframställda aminosyror kan råproteinhalten i fodret minskas utan att påverka produktion och hälsa negativt, men

det kräver också ökad kunskap om behovet av de icke-essentiella aminosyror som potentiellt kan bli begränsande vid låga råproteinnivåer (National Research Council 1994; Elliot 2008).

På senare år har det blivit alltmer tydligt att fodrets innehåll av glycin och serin är viktigt att ha i åtanke vid sänkta råproteinnivåer, framför allt har studier gjorts på slaktkyckling (Siegert & Rodehutsord 2018). Glycin kan syntetiseras från serin och vice versa, försök på slaktkycklinghybrider visar att denna process inte är begränsad förutsatt att aminosyrorna finns tillgängliga i tillräcklig mängd (Siegert & Rodehutsord 2019). I en studie av Han & Thacker (2011) undersöktes effekten av foder med olika energinivå i kombination med tillsatt glycin på 30 veckor gamla värphöns av hybriderna Lohmann Brown-Lite. Försöket undersökte inte sänkt råproteinhalt men indikerar att ökad mängd glycin kan leda till ökad äggvikt och produktion samt ökat foderintag.

2.1.2 Icke-stärkelse polysackarider

De fiber som finns i foder kan vara lösliga eller olösliga, varav den olösliga delen till stor del passerar genom hönan utan att brytas ner eller fermenteras (Desbruslais et al. 2021). De olösliga fibrerna kan leda till ökad passagehastighet av fodret, högre foderintag och högre smältbarhet av stärkelse samt minskad fjäderplockning. Den ökade smältbarheten av stärkelse beror troligen på att muskelmagens utveckling gynnas av fiberrikt foder och därmed ökas kapaciteten att mala fodret (Desbruslais et al. 2021). Dessutom kan tillväxten av gynnsamma bakterier i tarmen öka vilket ökar näringsupptaget (Hartini & Choct 2010; Michard 2016). Fiberfraktionen av ett foder kan analyseras på olika sätt (Desbruslais et al. 2021). Vid analys av fodrets innehåll av växttråd separeras de lättsmälta kolhydraterna (Nitrogen Free Extract) från de mer svårsmälta (växttråd), fraktionen av fiber i denna analys består framför allt av lignin och cellulosa. I denna metod faller en del fiber bort, vilket gjort att metoder för analys av acid detergent fibre (ADF) och neutral detergent fibre (NDF) utvecklats. Genom ADF analyseras huvudsakligen lignin och cellulosa medan NDF även inkluderar hemicellulosa. Metoden för NDF-analys anses bra för att analysera innehållet av olösliga NSP i spannmål (Desbruslais et al. 2021). Vidare har en analysmetod som bestämmer total NSP, samt andel lösliga respektive olösliga NSP, utvecklats (Spiller 2001). I denna metod löses stärkelsen i provet upp av enzym och resterande del av provet behandlas med syra innan gas-kromatografi utförs.

Idag finns inga rekommendationer som gäller fodrets innehåll av NSP (Nguyen et al. 2021). Innehållet av total NSP i foderråvaror varierar, exempelvis innehöll majs 9,7%

NSP medan havreskal hade ett innehåll på 23,3% i en studie av Bach Knudsen (1997). Samma råvara kan också ha olika NSP-halt beroende av sort, odlingsförhållande och lagring (Bach Knudsen 1997). Värphöns anses generellt vara bättre på att smälta fiber än slaktkycklingar, troligtvis beror det på att värphönan lever längre och därmed utvecklas en mer anpassad tarmflora (Nguyen et al. 2021). Problem som kan uppstå till följd av lösliga fiber är ökad viskositet av tarminnehållet, kletig träck samt ökat vattenintag (Elwinger 2013). Hos slaktkycklingar kan detta leda till en mängd problem såsom våt ströbädd, ökat sjukdomstryck samt sämre stallklimat, hygien, tillväxt och foderomvandlingsförmåga (Desbruslais et al. 2021). Hos värphöns ger det framför allt problem med smutsiga ägg och smutsig fjäderdräkt. För att undvika dessa problem och öka smältbarheten av fiber och andra näringsämnen kan enzymer som xylanas och β -glukanas tillsättas i fodret (Bederska-Łojewska et al. 2019). Råg som har ett högt innehåll av lösliga fiber anses vara en mindre lämplig råvara i fjäderfäfoder och användningen är begränsad (Elwinger 2013). Däremot visar en studie av Bederska-Łojewska et al. (2019) att inbladning av upp till 25% råg inte gav negativ påverkan på foderomvandlingsförmåga, äggproduktion eller äggvikt trots att enzym inte tillsats i fodret. Rågen som användes i studien innehöll 10% olösliga NSP och 15,5% total NSP.

2.2 Ammoniak

Ammoniak (NH_3) är en starkt luktande, färglös gas som kan ha negativa effekter på både djurvälstånd, hälsa och miljö. Vid höga nivåer av ammoniak i fjäderfästallar finns risk för minskad produktion, skador på fjäderfänans andningsorgan och ökat smittryck (Ritz et al. 2004). Enligt Statens jordbruksverks föreskrifter och allmänna råd (SJVFS 2022:5) om fjäderfåhållning inom lantbruket m.m., saknr L 111 får fjäderfå endast tillfälligt vistas i utrymmen med ammoniakhalter över 10 ppm, med undantag för värphöns och avelsdjur som hålls i envåningssystem där gränsen är 25 ppm. Även arbetsmiljöverket har gränsvärden för ammoniak. Ett korttidsgränsvärde på max 50 ppm och ett nivågränsvärde på max 20 ppm är en acceptabel arbetsmiljö enligt arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd (AFS 2018:1) om hygieniska gränsvärden. Ammoniakemissioner från fjäderfäproduktionen påverkas av bland annat av stallets ventilation, inhysningssystem, fodrets sammansättning och hanteringen av gödsel (Ritz et al. 2004). Enligt Naturvårdsverket (2023) är hanteringen av gödsel inom lantbruket den största källan till ammoniakutsläpp i Sverige. Ammoniak avgår till luften och kan i förlängningen leda till försurning och övergödning av vatten och mark vilket kan hota ekosystemet och den biologiska mångfalden (Naturvårdsverket 2023).

Gasen ammoniak bildas när kväveföreningar i gödsel bryts ner av mikrober, i fjäderfäproduktion är nedbrytningen av urinsyra den främsta källan för ammoniak (Ritz et al. 2004; Naseem & King 2018). I hönans träck finns de mikrober som bryter ner urinsyra till urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) (Naseem & King 2018). Urea hydrolyseras sedan av enzymet ureas till ammoniumkarbonat ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$) som i sin tur kan omvandlas till ammoniak (NH_3), ammonium (NH_4^+) och vätekarbonat (HCO_3^-) enligt figur 1 (Oenema et al. 2008). Flera faktorer påverkar denna bildning av ammoniak, bland annat gödselns pH samt mängden kväve och kvävet form i ströbädden (Roberts et al. 2007; Li et al. 2012). Enzymet ureas är som mest aktivt vid pH 7,5–8,5 således ger ett pH under 7 generellt en mindre ammoniakavgång då en större andel av kväveföreningarna förblir ammonium medan ett pH över 7 ger en ökad andel ammoniak (Sachs et al. 2001; Naseem & King 2018).



Figur 1. Urea hydrolyseras av enzymet ureas till ammoniumkarbonat. Karbonatjonerna leder till en ökning av pH vilket gynnar omvandlingen av ammonium till ammoniak. Ammoniak avgår till luften medan ammonium och vätekarbonatjoner förblir i ströbädden.

2.2.1 Effekt av råprotein

Minskad andel råprotein är en anpassning av fodersammansättningen som kan minska ammoniakavgången från ströbädden (Naseem & King 2018). Fjäderfä kan inte lagra aminosyror och därav leder en hög andel råprotein i fodret till ökad kväveutsöndring i träcken, till största del utsöndras det överflödiga kvävet i form av urinsyra vilket som tidigare nämnt är den största källan till ammoniakemissioner hos fjäderfä (Ritz et al. 2004; Naseem & King 2018). Minskad råproteinhalt i fodret kan således minska mängden kväve som kommer ut i träcken (Li et al. 2012). För att detta inte ska påverka produktion, hälsa och välfärd negativt är det viktigt att behovet av aminosyror tillgodoses, vilket kan göras genom en ökad andel renframställda aminosyror (Iio et al. 2023). Flertalet studier indikerar att ammoniakavgång från ströbädden kan reduceras med runt 10% för varje procentenhet råproteinhalten sänks med (Liang et al. 2005; Silaban et al. 2017; He et al. 2022; Iio et al. 2023). Däremot gav en sänkning av råproteinhalten med en procentenhet inte effekt på ammoniakavgången i en studie av Roberts et al. (2007). I studien minskade den totala mängden kväve i träcken hos den grupp som fick minskad andel råprotein i fodret, men foderanpassningen gav ingen effekt på ammoniakavgången. Enligt författarna kan detta bero på en felaktig aminosyrabalans i försöksfodret, något som även kan förklara en minskad äggproduktionen hos denna grupp. Roberts et al. (2007) menar att en brist på en eller

flera aminosyror kan leda till ökad utsöndring av urinsyra och därmed ökad ammoniakavgång från ströbädden.

2.2.2 Effekt av olösliga fiber

Ett sätt att sänka pH i ströbädden och därmed ammoniakavgången är iblandning av olösliga fiber i fodret. Ökad andel fiber i fodersammansättningen leder till ökad mikrobiell fermentation i mag-tarmkanalen vilket stimulerar produktionen av kortkedjiga fettsyror, som i sin tur sänker pH i gödsel och ströbädd (Roberts et al. 2007). I en studie av Roberts et al. (2007) gav detta resultat och emissionerna minskade med upp till 10% när NDF-halten ökades med omkring två procentenheter. I studien testades fibertillskott i form av majsdrank, vetefodermjöl samt skal från sojabönor. Gödselns pH hos försöksgrupperna uppmättes till 6,77; 6,80 respektive 6,85 jämfört med kontrollgruppen där pH uppmättes till 7,08. De olösliga fibrerna i fodret ökar också den bakteriella tillväxten i tjocktarmen samt bakteriernas metabolism (Roberts et al. 2007). Dessa bakterier behöver dels energi från fodret som de framför allt får från fiber, dels behöver de kväve. En del av det kväve som annars utsöndrats i form av urinsyra kommer därför användas av bakterierna och mer mikrobiellt protein bildas (Roberts et al. 2006, 2007; Li et al. 2012). Även detta bidrar till minskade ammoniakemissioner då det mikrobiella proteinet är mer stabilt än urinsyra (Naseem & King 2018).

2.3 Äggkvalitet

Äggets kvalitet är en central del i produktionen, både inre och yttre parametrar är av betydelse för konsumenter och livsmedelsindustrin (Roberts 2004; Alig et al. 2023). Den inre äggkvaliteten kan bedömas genom gulan färg och vikt, äggulemembranets (*membrana vitellina*) styrka samt vitans vikt, höjd och Haugh units som mäter vitans viskositet (Roberts 2004). Den yttre kvaliteten kan bedömas genom att mäta äggskalets vikt, styrka, tjocklek och färg samt äggets vikt. Dessa parametrar påverkas av många faktorer (Roberts 2004; Ledvinka et al. 2012; Alig et al. 2023). Värphönans genetik, ålder och vikt kan influera. Likaså kan inhysningssystem, utfodring och sjukdomar påverka äggkvaliteten.

2.3.1 Inre äggkvalitet

Äggulans vikt motsvarar runt 30% av den totala vikten av ett färskt ägg och har en torrs substans på runt 50–52% (Stadelman 2003; Huopalahti et al. 2007). I gulan finns alla de näringsämnen som behövs för att ett embryo ska kunna utvecklas till en

kyckling, utöver vatten består den färska gulan av 3,6% lipider, 16% protein, 0,6% kolhydrater och 1,7% mineraler (Huopalahti et al. 2007; Svenska ägg 2023). Andelen gula i ägget kan öka under lagring eftersom en del vätska från äggvitan absorberas till gulan (Jacob et al. 2000; Kirunda & McKee 2000). Likaså kan värphönans genetik påverka äggets proportioner (Silversides & Scott 2001).

Gulans färg anses vara en viktig faktor för konsumenten, vilken färg som är önskvärd varierar över världen (Roberts 2004; Bovšková et al. 2014). Färgen på gulan påverkas av innehållet av karotenoider, vilka är fettlösliga pigment som det naturligt finns mycket av i vissa foderråvaror men som även kan tillsättas i syntetisk form i fodret för att styra färgen (Roberts 2004; Huopalahti et al. 2007; Bovšková et al. 2014). Karotenoider kan delas in i två huvudgrupper, karotener och xantofyller (Bovšková et al. 2014). Framför allt är innehållet av xantofyll avgörande för gulans färg. I Sverige anses ett innehåll av 10 mg xantofyll per kg foder ge den färg på gulan som konsumenten efterfrågar (Elwinger 2013). År 1990 förbjöds tillsatser av syntetiskt framställt xantofyll i svenska foder, något som åter blev tillåtet när Sverige blev medlem i Europeiska unionen (EU). Den svenska branschen har däremot fortsatt att avstå från renframställda färgpigment även efter inträdet i EU och använder i stället foderråvaror med högt innehåll av xantofyll, exempelvis majs glutenmjöl med ett innehåll av 230 mg xantofyll per kg (Elwinger 2013).

Äggulemembranets styrka är ytterligare en parameter som är viktig både för konsument och livsmedelsindustri (Alig et al. 2023). Det är detta membran som håller ihop gulan och dess styrka är således viktigt när gulan ska separeras från vitan. Membranets styrka försämras när ägget lagras, vilket ökar risken för att gulan spräcks (Roberts 2004). Under lagring bryts protein i membranet ner, vid ökad lagringstid och temperatur sker denna nedbrytning snabbare (Jin et al. 2010). Nedbrytningen gör att vätska kan förflyttas från äggvitan till äggulan vilket sträcker ut membranet och gör det mindre elastiskt (Kirunda & McKee 2000).

Äggvitan utgör runt 60% av äggets totala vikt och har en vattenhalt omkring 86–89%, normalt ökar andelen vata i takt med att hönan blir äldre (Stadelman 2003; Hrabia 2022). Äggvitans torrs substans består till största del av protein varav ovalbumin (54%), ovotransferrin (13%), ovomucoid (11%) och lysozym (3,5%) är de huvudsakliga proteinerna (Johnson 1999). Proteinernas tekniska och nutritionella egenskaper gör äggvitan viktig både för konsument och livsmedelsindustri, men även äggvitans fysiska egenskaper är en viktig kvalitetsaspekt (Rizzi 2021). För att mäta äggvitans viskositet används ofta Haugh Units, ett mått som tar hänsyn till äggvitans höjd och äggets vikt (Alig et al. 2023). Precis som äggulemembranet påverkas äggvitans höjd och därmed

Haugh Units av lagringstid och temperatur (Roberts 2004). En längre lagringstid och högre temperatur försämrar kvaliteten. Värphönans genetik och ålder påverkar också kvaliteten, äggvitan från äldre värphöns har ofta sämre kvalitet än från yngre. Äggvitans kvalitet påverkas i mindre utsträckning av utfodring (Jacob et al. 2000).

Utfodringsstudier med syfte att minska ammoniakavgången genom minskad andel råprotein och ökad andel renframställda aminosyror har gett blandade resultat på inre äggkvalitet. Iio et al. (2023) sänkte i sin studie råproteinhalten från 16 till 14% samt tillsatte lysin, metionin och tryptofan. I studien användes höns av hybriderna White Leghorn vid en ålder av 47–78 veckor. Ingen negativ påverkan på den inre äggkvaliteten eller i foderintag fanns mellan foderbehandlingarna (Iio et al. 2023). I en studie av Silaban et al. (2017) sänktes också råproteinhalten med två procentenheter, från 17 till 15%. I studien användes 22 veckor gamla ISA Brown höns, aminosyrorna metionin, lysin, isoleucin och valin tillsattes i lågproteinfodret. Även i denna studie gav den sänkta råproteinhalten ingen negativ effekt på den inre äggkvaliteten (Silaban et al. 2017). Alagawany et al. (2014) testades foder med lågt innehåll av råprotein och varierande tillsatts av aminosyror på värpande vaktlar, vilket gav varierande effekt på den inre äggkvaliteten. Samtliga försöksfoder i studien hade en råproteinhalt på 16% samt tillsatt treonin, metionin och lysin medan kontrollgruppen fick ett foder med 20% råprotein. En av försöksgrupperna fick ingen ytterligare tillsats av aminosyror medan resterande fyra försöksgrupper fick extra treonin, valin och/eller tryptofan. De japanska vaktlarna utfodrades med försöksfodren från 13 till 22 veckors ålder. Andelen gula var lägre i alla försöksgrupper jämfört med kontrollgruppen, lägst var den i ägg från den grupp som fått lågproteinfodret med tillsatt treonin, valin och tryptofan. På grund av lägst andel gula i denna grupp, hade gruppen även högst andel vita medan kontrollgruppen hade lägst andel vita. Gällande Haugh Units fanns ingen signifikant skillnad mellan foderbehandlingarna i studien.

2.3.2 Yttre äggkvalitet

Äggets vikt används vid klassning och märkning av ägg. Inom EU delas äggen in i märkningarna S (43–53 gram), M (53–63 gram), L (63–73 gram) och XL (över 73 gram) (Kommissionens förordning 589/2008). Äggets vikt ökar med värphönans ålder, exempelvis väger äggen enligt Swedfarms produktguide för Bovans Robust (2024) 61,3 gram vid 35 veckors ålder och 62,9 gram vid 50 veckors ålder. Äggvikten påverkas också av hönans genetik (Roberts 2004). Vikten på ägget är genetiskt kopplat till andra egenskaper hos ägget, framför allt har kopplingar mellan total äggvikt och äggvitans vikt påvisats (Jin et al. 2010). Detta innebär att ökad äggvikt oftast leder till ökad mängd vita medan gulans vikt är relativt konstant. Däremot ökar inte mängden

kalcium i äggskalet när äggets vikt ökar, vilket kan innebära ett skörare skal på större ägg (Roberts 2004). Äggvikten kan också påverkas av mängden protein och aminosyror i fodret, ett ökat innehåll av metionin ger ökad äggvikt (Bouvarel et al. 2011).

Äggskalets kvalitet är en viktig faktor för producentens ekonomi samt vid packning, transport och inom livsmedelsindustrin när ägg ska knäckas (Ketta & Tůmová 2016; Alig et al. 2023). Ett starkt skal klarar transporter bättre och likaså efterfrågas ett starkt skal av livsmedelsindustrin för att äggskalet inte ska knäckas i småbitar och hamna i äggmassan (Alig et al. 2023). Äggskalet består av cirka 96% kalciumkarbonat vilket motsvarar runt 3 gram kalcium (Roberts 2004; Ketta & Tůmová 2016). Som tidigare nämnt ökar inte äggskalets vikt med värphönans ålder på samma sätt som äggvikten, vilket innebär att ägg från äldre höns ofta har sämre skalkvalitet (Roberts 2004). På grund av äggskalets höga innehåll av kalcium är utfodringen också en faktor som påverkar kvaliteten. Ett intag på 4–4,5 gram kalcium per dag anses ge maximal skalstyrka (Bouvarel et al. 2011). Andra faktorer som påverkar skalets kvalitet är värphönans genetik, inhysning, stress och sjukdomar (Roberts 2004). Alagawany et al. (2014) har även sett en minskning i andel skal i samband med minskad råproteinhalt i fodret.

Äggskalets färg är ännu en faktor som är avgörande för äggkvaliteten, vilken färg som är önskvärd av konsumenten varierar. Färgen på skalet avgörs till största del av värphönans genetik, bland de hybrider som används för storskalig äggproduktion läggs vita och bruna ägg (Jacob et al. 2000). Generellt lägger vita höns vita ägg och bruna höns bruna ägg, inom grupper finns däremot individuella skillnader. Färgen kommer från pigment som bildas i värphönans äggstock, mängden pigment ökar inte i takt med att värphönan blir äldre och lägger större ägg vilket leder till att ägg från äldre höns ofta är ljusare hos de hybrider som värper bruna ägg (Cavero et al. 2012). Skalets tjocklek kan också påverka färgen, ett tunnare skal ger ljusare ägg (Rizzi 2021).

Den yttre äggkvaliteten har påverkats olika i utfodringsstudier med minskad råproteinhalt och ökad andel renframställda aminosyror. Roberts et al. (2007) fann en minskad produktion och äggvikt när råproteinet i fodret minskades med en procentenhet. I kontrast gav minskad råproteinhalt ingen effekt på äggproduktion och äggvikt i flertalet andra studier (Liang et al. 2005; Alagawany et al. 2014; Silaban et al. 2017; Iio et al. 2023). I dessa studier har råproteinhalten sänkts med upp till fyra procentenheter, ner till 14%, och resultaten tyder på att äggvikten inte påverkas förutsatt att värphönans behov av totalt kväve uppfylls (Alagawany et al. 2014; Silaban et al. 2017). Uppfylls inte behovet av totalt kväve finns risk att vissa aminosyror inte

kan syntetiseras av hönan vilket kan påverka produktion och äggvikt (Silaban et al. 2017).

2.4 Bedömning av hönans exteriör

Värphönans exteriör kan användas som ett mått vid bedömning av djurens välfärd (Welfare Quality Network 2019). Genom bedömning av hönans fjäderdräkt, fötter samt och eventuella hackskador fås en bild av förekomsten av fjäderplockning, kannibalism och aggressiva beteenden (Tauson et al. 2005). Fjäderplockning innebär att hönan pickar på, drar ut och/eller äter fjädrar från andra höns (Blokhuis & Wiepkema 1998). Beteendet är smärtsamt för hönan som utsätts, kan leda till öppna sår med ökad risk för infektion och i förlängningen kannibalism och död (El-Lethey et al. 2000). Hönan har ett behov av att födosöka, sprätta och sandbada. En stor del av hönans tidsbudget spenderas på dessa beteende och när djurets möjlighet att utföra detta begränsas kan fjäderplockning uppstå, ett välfärdsproblem både för den höna som utövar och utsätts för fjäderplockning (Blokhuis & Wiepkema 1998; Wahlström et al. 1998; Bestman & Wagenaar 2003). Höns kan också hacka på varandra för att etablera dominans, främst utsätts huvud och kam (Cronin & Glatz 2020). Detta beteende är mer aggressivt men kan avta när den sociala hierarkin fastställts. Vid en exteriörbedömning kan även hönans klolängd bedömas, då långa klor kan leda till rivsår hos andra höns i flocken (Shi et al. 2019). Utöver försämrad välfärd kan fjäderplockning och hackskador försämra äggproducentens ekonomi genom ökad dödlighet, minskad produktion samt ökad foderåtgång då foderintaget hos en höna med skadad fjäderdräkt ökar för att hon ska kunna behålla kroppstemperaturen (El-Lethey et al. 2000; Bestman & Wagenaar 2003; Van Krimpen et al. 2005). Flertalet faktorer kan påverka hönans exteriör, inte minst nutritionella.

En fjäder består av 89–97% protein, således är ett tillräckligt protein- och aminosyrainnehåll i fodret viktigt för att undvika fjäderplockning och kannibalism (Van Krimpen et al. 2005; Steinfeldt et al. 2007). I en studie av Ambrosen och Petersen (1997) testades sju försöksfoder med olika proteinnivåer på värphöns från sju genetiska linjer, fodren utgick från två grundfoder som ingick med olika inblandning. Försöksfodret med lägst proteininnehåll (111 g råprotein/kg foder) var optimerat för att uppfylla hönsens lysinbehov till 70% medan försöksfodret med högst proteinhalt (193 g råprotein/kg foder) var sammansatt för att uppfylla behovet av metionin+cystin till 160%, resterade fem försöksfoder var blandningar av dessa foder. Fodret med lägst proteinhalt (111 g råprotein/kg foder) ledde till att 17,6% av hönsen dog till följd av kannibalism, detta att jämföra med 2,5% dödlighet i gruppen som fick fodret med högst

proteininnehåll (193 g råprotein/kg foder) (Ambrosen & Petersen 1997). Framför allt kan brist på metionin ha en negativ inverkan på fjäderplockning då metionin är en viktig beståndsdel vid uppbyggnad av fjädrar (Van Krimpen et al. 2005). Vid brist på denna aminosyra kan fjäderdräkten bli avvikande vilket i sin tur kan attrahera fjäderplockning. Brist på metionin och lysin kan också leda till hyperkeratos och inflammation på hönans fötter (Zaffarano 2016).

En nutritionell anpassning som visats bidra till minskad fjäderplockning och kannibalism är en ökad andel olösliga fiber (Steenfeldt et al. 2007). Den ökade andelen olösliga fiber kan bidra till att värphönan spenderar mer tid på födosök och därmed tillgodoser sitt behov för detta beteende (Wahlström et al. 1998). Således spenderas mindre tid på andra beteende vilket kan leda till minskad fjäderplockning och kannibalism samt förbättrad fjäderdräkt (Wahlström et al. 1998; Van Krimpen et al. 2005; Steinfeldt et al. 2007; Desbruslais et al. 2021). Även fodret fysiska form kan påverka tiden som värphönan spenderar på födosök och därmed fjäderplockning (Van Krimpen et al. 2005). Att ge hönsen tillgång till ensilage eller halm är en effektiv metod för att minska fjäderplockningsbeteende (Aerni et al. 2000; Steinfeldt et al. 2007). Att blanda in fiberrika råvaror i fodret kan också ge effekt, men fodrets fysiska form inverkar. Qaisrani et al. (2013) fann att en inbladning av 15% havreskal ökade ättiden och minskade fjäderplockning hos värphöns som utfodrades med mjölfoder, ingen skillnad i energiomvandlingsförmåga fanns mellan grupperna. Studier där pellets och pelletskross används har däremot inte visat att ökad fiberhalt ger signifikant skillnad på fjäderplockningsbeteendet (Wahlström et al. 1998; Hetland et al. 2004). Även partikelstorleken på fodret påverkar. En mindre partikelstorlek är mer gynnsamt för minskad fjäderplockning då det ökar tiden för foderintag, men å andra sidan är en större partikelstorlek positivt för hönans muskelmage samt för vattenintaget då ett mjöligt foder ger ökat vattenintag och därmed blötare träck (Van Krimpen et al. 2005). Utöver utfodringsrelaterade faktorer kan faktorer som inhysningssystem, ströbädd, temperatur, ljus, genetik, ålder och gruppstorlek påverka förekomsten av fjäderplockning.

3. Material och metod

3.1 Djurmaterial och inhysning

3.1.1 Djurmaterial

Utfodringsstudien som genomfördes på Lövsta Lantbruksforskning, SLU, involverade 1600 värphöns av hybriderna Bovans Robust White uppfödda av Närkesberg Hönseri AB. Försöket startade 2 november 2023 då hönsen var 16 veckor gamla och förväntas fortgå tills hönsen uppnår en ålder av 50 veckor. Försöket är godkänt av Uppsala djurförsöksetiska nämnd, dnr. 5.8.18-20113/2022. Datainsamling för detta examensarbete startade 27 november 2023 då hönsen var 20 veckor och avslutades 15 april 2024 då hönsen uppnått en ålder av 40 veckor. Djurens hälsostatus utvärderades dagligen av Lövstas personal, individer med skador exkluderades från försöket och framtida datainsamling.

3.1.2 Inhysning

Hönsen inhystes i 16 grupper om 100 höns per grupp (figur 2). Grupperna inhystes i ett traditionellt frigående golvsystem (3,56m × 3,62m, B × L), en tredjedel av ytan bestod av betonggolv (1,32m × 3,56m, B × L) med strö i form av kutterspån, resterade golvyta bestod av upphöjt spaltgolv (2,30m × 3,56m, B × L). Gödsel under spaltgolvet avlägsnades med hjälp av mekaniska skrapor dagligen. Varje grupp hade tillgång till två kollektivreden (0,46m × 1,15m, B × L per rede), fyra foderautomater och en vattenautomat. Hönsen hade fri tillgång till foder och vatten under försöket. Samtliga grupper fanns i samma rum för att utesluta påverkan av olika inomhusklimat. Ventilationen i stallet styrdes automatiskt av ett Fancom system (Nederländerna), temperaturen hölls mellan 20 och 23 °C. Relativ luftfuktighet och temperatur registrerades dagligen, golvvärme användes i stallet. Som berikning tillhandahölls lecablock, hårda pickstenar och innebandybollar.

Grupp 10 Kontroll	Grupp 11 Låg RP	Grupp 12 RP Fiber	Grupp 13 Hög Fiber	Grupp 14 Låg RP	Grupp 15 RP Fiber	Grupp 16 Kontroll	Grupp 17 Hög Fiber	Grupp 18 Sjukgrupp
Grupp 9 RP Fiber	Grupp 8 Hög Fiber	Grupp 7 Kontroll	Grupp 6 Låg RP	Grupp 5 Hög Fiber	Grupp 4 Kontroll	Grupp 3 RP Fiber	Grupp 2 Låg RP	Grupp 1 Sjukgrupp

Figur 2. Schematisk bild som illustrerar värphönsstallet, gruppernas placering samt foderbehandlingarna. Stallets ingång är placerad vid sjukgrupperna 1 & 18

3.2 Foderbehandlingar

Fyra olika foderbehandlingar ingick i försöket, fyra replikat per foder. Foderbehandlingarna bestod av ett kontrollfoder (Kontroll), lågproteinfoder (Låg RP), högfiberfoder (Hög Fiber) samt lågprotein+högfiberfoder (RP Fiber). Kontroll var sammansatt för att motsvara ett konventionellt foderkoncept gällande näring och råvaror. Låg RP hade en råproteinhalt som var 1,5 procentenheter lägre i jämförelse med kontrollfodret samt tillsats av metionin, lysin, treonin, tryptofan, isoleucin, arginin, glycin, valin och histidin. Hög Fiber hade en NSP-halt som var 2 procentenheter högre än kontrollfodret, NSP-halten höjdes genom inblandning av havreskal. RP Fiber var en kombination av anpassningarna i Låg RP och Hög Fiber. För samtliga foderbehandlingar användes två fasfoder (tabell 1 & 3), foderbytet från fas 1 till fas 2 skedde när hönsen var 30 veckor, den 10 februari 2024. Foderbytet baserades på hönsens ålder, äggvikt samt fodertillgång. Samtliga foder optimerades för smältbara aminosyror (bilaga 1).

Tabell 1. Råvarusammansättning försöksfoder fas 1 & fas 2, per kg foder (%)

Råvara	Fas 1				Fas 2			
	Kontroll	Låg RP	Hög fiber	RP Fiber	Kontroll	Låg RP	Hög fiber	RP Fiber
Fodervete	41,01	33,92	32,07	25,50	42,57	34,16	33,57	33,48
Majs	10,00	20,00	10,00	19,39	10,00	20,91	10,00	13,37
Solrosmjöl	10,68	10,82	15,00	10,50	12,00	10,17	15,00	7,92
Kalk	9,74	9,79	9,70	9,73	10,14	10,19	10,10	10,14
Soja 46%rp	8,96	5,00	7,41	5,00	7,14	5,20	5,84	5,00
Oljevaxter kross	7,53	2,72	8,00	8,00	6,54	2,43	8,00	8,00
Foderhavre	3,00	7,00	3,00	7,00	3,00	7,00	3,00	6,14
Havre, hel	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Havreskal	-	-	3,94	4,56	-	-	4,26	6,07
Sojaolja	2,12	2,71	1,00	1,54	1,84	2,28	0,50	1,25
AkoFeed Soft	-	-	2,94	0,82	-	-	2,93	0,75
Premix ¹	0,60	1,03	0,60	1,02	0,60	0,95	0,60	1,08
Monokalciumpfosfat	0,49	0,53	0,48	0,53	0,29	0,34	0,29	0,36
Stensalt	0,29	0,18	0,26	0,18	0,24	0,18	0,23	0,19
Natriumbikarbonat	0,10	0,26	0,10	0,22	0,13	0,26	0,14	0,25
Metionin	0,17	0,20	0,16	0,20	0,16	0,19	0,16	0,21
Lysinsulfat	0,24	0,46	0,27	0,43	0,28	0,42	0,29	0,42
Treonin	0,05	0,13	0,05	0,13	0,05	0,11	0,05	0,12
Isoleucin	0,03	0,14	0,04	0,15	0,03	0,12	0,04	0,14
Valin	-	0,09	-	0,09	-	0,06	-	0,09
Tryptofan	-	0,02	-	0,02	-	0,01	-	0,02

¹Premix sammansatt för täcka behovet av vitaminer och mineraler.

3.3 Analyismetoder

3.3.1 Foder

Foderintag registrerades i perioder om 28 dagar under hela försöket. Olika foderråvarors innehåll av lösliga och olösliga NSP analyserades innan optimering av försöksfodren (tabell 2) enligt den metod Theander et al. (1995) beskrivit. För de råvaror som inte analyserades användes tabellvärde vid foderoptimeringen.

Tabell 2. Analyserat innehåll av NSP i olika foderråvaror, per kg råvara (%)

Råvara	Olöslig NSP	Löslig NSP	Total NSP
Solros	23,08	1,03	24,11
Vete	8,14	0,95	9,10
Rapsfrökross	11,19	0,67	11,87
Rapsmjöl	19,50	1,20	20,70
Havre	17,78	2,35	20,14
Vetefodermjöl	33,29	2,39	35,68
Havreskal	48,28	0,57	48,85
Soja	17,68	0,81	18,49

Foderprover analyserades för torrsubstans, aska, råprotein, fett och fiber på laboratoriet vid institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd, SLU (tabell 3). Fodrets torrsubstanshalt bestämdes efter torkning av provet vid 103 °C under 16 timmar och andelen aska bestämdes efter att provet placerats i 550 °C under 3 timmar. Råproteinhalten i fodret bestämdes genom Kjeldahlmetoden och beräknades $N \times 6,25$ (NMKL 2003). Fodrets fettinnehåll analyserades enligt den metod European Communities (2009) beskrivit. Fiberinnehållet i fodret analyserades som aNDFom (amylase neutral detergent fibre method). Mineralinnehåll (tabell 3) och aminosyrasammansättning (bilaga 2) analyserades av Eurofins.

Tabell 3. Optimerat och analyserat näringsvärde försöksfoder fas 1 & fas 2

Parameter	Enhet	Fas 1				Fas 2			
		Kontroll	Låg RP	Hög fiber	RP Fiber	Kontroll	Låg RP	Hög fiber	RP Fiber
<i>Optimerat värde</i>									
Torrsubstans	%	89,0	89,1	89,6	89,6	89,5	89,5	90,1	89,9
Råprotein	%	17,0	15,5	17,0	15,5	16,5	15,2	16,5	15,1
Råfett	%	7,5	6,3	9,4	8,1	6,9	5,8	9,0	7,8
NDF	%	13,4	13,2	16,2	16,2	13,5	13,2	16,4	16,5
Olöslig NSP	%	10,7	10,7	12,7	12,7	10,7	10,7	12,7	12,7
Kalcium	g/kg foder	37,0	37,0	37,0	37,0	38,0	38,0	38,0	38,0
Kalium	g/kg foder	6,2	5,4	6,2	5,5	6,0	5,4	6,0	5,4
Natrium	g/kg foder	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,7	1,6	1,7
Fosfor	g/kg foder	5,0	4,9	5,2	5,0	4,6	4,4	4,7	4,3
Metionin ¹	g/kg foder	4,3	4,3	4,3	4,3	4,2	4,2	4,2	4,2
Lysin ¹	g/kg foder	7,7	7,7	7,7	7,7	7,5	7,5	7,5	7,5
Treonin ¹	g/kg foder	5,4	5,4	5,4	5,4	5,3	5,3	5,3	5,3
<i>Analyserat värde</i>									
Torrsubstans									
(103 °C)	%	88,8	89,2	89,5	89,4	89,9	89,6	90,3	90,5
Aska (550 °C)	%	13,0	12,2	13,1	12,5	12,3	12,3	12,9	12,4
Råprotein	%	17,3	15,7	17,6	16,0	16,4	15,4	16,3	15,1
EG-fett	%	6,4	6,3	6,8	7,0	6,2	5,7	7,7	6,8
aNDFom	%	9,2	9,7	10,7	12,1	10,8	10,8	13,8	12,6
Kalcium	g/kg foder	43,0	36,0	36,0	38,0	34,0	34,0	37,0	32,0
Kalium	g/kg foder	7,9	6,0	6,0	6,4	6,1	5,3	6,1	5,3
Magnesium	g/kg foder	2,7	2,1	2,2	2,2	2,0	1,8	2,1	1,8
Natrium	g/kg foder	1,6	1,6	1,6	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3
Fosfor	g/kg foder	6,3	5,0	5,2	5,4	4,2	3,8	3,8	3,8
Metionin ²	g/kg foder	4,6	4,5	5,0	4,5	4,1	4,1	4,3	4,1
Lysin ²	g/kg foder	8,9	8,5	9,5	8,3	8,3	8,3	8,5	8,4
Treonin ²	g/kg foder	6,5	6,2	7,1	6,2	6,1	6,0	6,4	6,1

¹Fullständig optimering av smältbara aminosyror redovisas i bilaga 1

²Fullständig aminosyraanalys redovisas i bilaga 2

3.3.2 Ammoniak

Mätning av ammoniakkoncentrationen i ppm skedde vid 4 tillfällen. En ventilerad kammare placerades på ströbädden (Svensson 1994), ammoniakkoncentrationen mättes i kammaren med en Kitagawa-pump. Insamling av träckprov utfördes när hönsen var 36 respektive 40 veckor gamla. Träck skrapades ihop under det upphöjda spaltgolvet, cirka 210 gram prov togs från varje grupp. Träckproven analyserades av Eurofins för totalkväve, ammonium-kväve och organiskt kväve.

3.3.3 Äggkvalitet och produktion

Antal producerade ägg registrerades dagligen under försöket och äggvikt registrerades veckovis. Insamling av ägg för kvalitetsanalys skedde när hönsen var 35 veckor gamla, smutsiga och knäckta ägg ingick inte i analysen. 10 rena ägg från varje grupp valdes slumpmässigt ut, totalt analyserades 40 ägg från varje foderbehandling. Samtliga analyser av äggkvalitet genomfördes på laboratoriet vid institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd, SLU. Äggen förvarades i kylrum inför analys, minst en timme innan analys togs äggen ut i rumstemperatur. Eftersom analyserna genomfördes under flera dagar analyserades ägg från alla foderbehandlingar varje dag för att minska påverkan av lagringstid. Följande analyser genomfördes på samtliga ägg:

- 1) Äggen vägdes individuellt och vikten noterades med tre decimaler.
- 2) Äggskalets styrka mättes med en Egg Force Reader (Orka Food Technology, 875 Lakeview DR, Bountiful, UT, 84010, USA). Ägget placerades med den spetsiga änden nedåt, instrumentet tillämpade tryck på äggskalet tills att det sprack. Kraften som krävdes för att spräcka äggskalet noterades i kgF.
- 3) Ägget knäcktes över en glasplatta inför vidare analyser. Gulans färg bedömdes med en Yolk Colour Fan från Roche enligt skalan 1 till 15.
- 4) Vitans höjd mättes 0,5 cm från gulan med en mikrometer. Mätinstrumentets spets sänktes till vitans yta, höjden av vitan mättes med en noggrannhet på 0,1 mm. Haugh Units beräknades enligt formeln $HU = 100 \times \log (H - 1,7W^{0.37} + 7,57)$ där H=äggvitans höjd och W=äggets vikt.
- 5) Gulan och vitan separerades med hjälp av en separator och vägdes individuellt. Vikten noterades med tre decimaler.

- 6) Aluminiumformar med äggvitan placerades i en 60 °C varm ugn över natten. Nästkommande dag flyttades äggvitan till en 103 °C varm ugn för att torkas i 24 timmar. Äggvitan vägdes efter att ha svalnat, vikten noterades med tre decimaler. Äggvitans torrs substans beräknades.
- 7) Äggskalets tjocklek mättes med en Mitutoyo Absolute digital micrometer (NO. 7360). Membranet separerades från äggskalet innan tjockleken mättes, tre mätningar utfördes på varje äggskal. Ett medelvärde av mätningarna beräknades.
- 8) Äggskalets vikt mättes individuellt och noterades med tre decimaler.

3.3.4 Exteriörbedömning

Hönsens fjäderdräkt, renhet samt prevalensen av hackskador bedömdes enligt den standardmetod som beskrivits av Tauson et al. (2005). Bedömningen genomfördes när hönsen var 35 veckor gamla. Fjäderdräktens skick bedömdes vid hönsens hals, bröst, kloak, rygg, vingar och stjärt. Hackskador på bakre delen av kroppen och kammen samt fötternas status bedömdes också. Samtliga parametrar poängsattes enligt skalan 1 till 4 där högre poäng motsvarar bättre status hos djuret. Fjäderdräktspoängen för hals, rygg, stjärt, kloak, vingar och bröst summerades inför statistisk analys.

3.4 Statistisk analys

Samtliga statistiska analyser utfördes i SAS, version 9.4, med statistisk signifikansnivå 5% ($P \leq 0,05$). Foderintag, foderomvandlingsförmåga, dödlighet, äggvikt och värpprocent grupperades i 5 perioder om 28 dagar. Parametrarna analyserades med Proc. Mixed och upprepad mätning för grupp med AR(1) som kovariansstruktur. Foderbehandling, period samt interaktionen mellan foderbehandling och period användes som fixa faktorer. Foderomvandlingsförmåga beräknades som foderintag dividerat med äggmassa (totalt antal ägg / period \times medeläggvikt för perioden) inför den statistiska analysen. Foderintag och värpprocent analyserades per höndag. Höndagar för en period beräknades som antal hönor i slutet av en 28 dagars period \times 28 dagar + antal dagar eventuellt döda hönor funnits med och ätit foder samt producerat ägg i gruppen, vilket antogs vara fram till dagen innan hönan dog. För analys av äggkvalitetsparametrar användes Proc. Mixed, där analysdag och foderbehandling användes som fixa faktorer och grupp användes som slumpmässig faktor.

För analys av fjäderdräktsbedömningen användes Proc. Mixed, där foderbehandling användes som fix faktor och grupp som slumpmässig. Eftersom residualerna för fjäderdräkts renhet, fötternas renhet, hyperkeratos, bumblefoot samt klolängd inte var normalfördelade analyserades dessa parametrar med Proc. Glimmix och logistisk regression användes för att utvärdera effekt av foderbehandling. Även i dessa analyser användes foderbehandling som fix faktor och grupp som slumpmässig faktor. Inför analys av fjäderdräkts renhet, fötternas renhet samt klolängd konverterades poäng 1 och 2 till responsvariabel 1, och poäng 3 och 4 till responsvariabel 0. Inför analys av hyperkeratos samt bumblefoot omvandlades poäng 1, 2 och 3 till responsvariabel 1 medan poäng 4 omvandlades till responsvariabel 0.

Eftersom mätning av ammoniakkoncentration (ppm) med Kitagawa-pump skedde fyra gånger analyserades de insamlade värdena med Proc. Mixed och upprepad mätning för mättillfälle med AR(1) som kovariansstruktur. Modellen användes även för statistisk analys av resultaten från laboratorieanalyserna av träckprov då insamling av träckprov skedde två gånger. Mättillfälle, foderbehandling, block (figur 3) samt interaktionen mellan foderbehandling och mättillfälle användes som fixa faktorer.

Grupp 10 Kontroll	Grupp 11 Låg RP	Grupp 12 RP Fiber	Grupp 13 Hög Fiber	Grupp 14 Låg RP	Grupp 15 RP Fiber	Grupp 16 Kontroll	Grupp 17 Hög Fiber	Grupp 18 Sjukgrupp
Block 4		Block 3		Block 2		Block 1		
Grupp 9 RP Fiber	Grupp 8 Hög Fiber	Grupp 7 Kontroll	Grupp 6 Låg RP	Grupp 5 Hög Fiber	Grupp 4 Kontroll	Grupp 3 RP Fiber	Grupp 2 Låg RP	Grupp 1 Sjukgrupp

Figur 3. Schematisk bild över blockindelningen inför statistisk analys av ammoniakkoncentration (ppm) mätt med Kitagawa-pump. Stallets ingång är placerad vid sjukgrupperna 1 & 18.

4. Resultat

4.1 Foderkonsumtion och produktion

Det fanns ingen signifikant skillnad ($P=0,525$) i ackumulerad dödlighet mellan foderbehandlingarna, Kontroll (2,75%), Låg RP (4,75%), Hög Fiber (5,50%) och RP Fiber (2,74%). Foderbehandling hade heller ingen effekt på foderintag ($P=0,538$), foderomvandlingsförmåga ($P=0,281$) och värprocent baserat på höndagar ($P=0,962$) (tabell 4). Däremot fanns en signifikant effekt av foderbehandling på äggvikten ($P=0,0003$) (tabell 4). Äggen från de höns som fått Låg RP hade en lägre äggvikt jämfört med övriga foderbehandlingar. Det fanns en signifikant skillnad mellan perioder ($P < 0,0001$) på samtliga parametrar (tabell 4). En interaktion mellan foderbehandling och period fanns på foderintag ($P=0,0003$). Vid parvisa jämförelser med Tukey-Kramer-justering försvann däremot effekten. Det fanns även en tendens till interaktion på foderomvandlingsförmåga ($P=0,075$) samt äggvikt ($P=0,067$), men ingen interaktion mellan foderbehandling och period fanns på värprocent ($P=0,995$) (tabell 4). Medelvärde för samtliga parametrar under respektive period redovisas i bilaga 3.

Tabell 4. Effekt av foderbehandling och period på foderintag, foderomvandlingsförmåga, äggvikt och värprocent. Medelvärde \pm standard error

	Foderintag (g/höna/dag)	Foderomvandlingsförmåga (kg foder/kg ägg)	Äggvikt (g)	Värprocent (%)
Foderbehandling				
Kontroll	112,31 \pm 1,521	2,15 \pm 0,030	59,78 ^a \pm 0,079	90,26 \pm 0,422
Låg RP	114,47 \pm 1,521	2,23 \pm 0,030	59,28 ^b \pm 0,079	90,02 \pm 0,422
Hög Fiber	111,93 \pm 1,521	2,15 \pm 0,030	59,98 ^a \pm 0,079	90,31 \pm 0,422
RP Fiber	111,48 \pm 1,521	2,15 \pm 0,030	59,76 ^a \pm 0,079	90,25 \pm 0,422
P-värde				
Foderbehandling (F)	0,538	0,281	0,0003	0,962
Period (P)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

4.2 Ammoniak

Vid mätning av ammoniakkoncentrationen (ppm) med Kitagawa-pump fanns en signifikant skillnad mellan mättillfällena ($P < 0,0001$). Vid mättillfälle 3 var ammoniakkoncentrationen lägre än vid övriga mättillfällen. Ingen effekt av foderbehandling ($P=0,579$) fanns på ammoniakkoncentrationen (tabell 5). Det fanns heller ingen interaktion mellan mättillfälle och foderbehandling ($P=0,759$) (tabell 5). En blockeffekt ($P=0,0019$) fanns på ammoniakkoncentrationen, grupperna närmst stallets ingång (block 1) hade lägre koncentration i jämförelse med grupperna längre bort från ingången (block 3 & 4) (figur 3).

Laboratorieanalysen av träckprover visade en signifikant effekt av foderbehandling på mängden totalkväve ($P=0,007$), mängden ammonium-kväve ($P=0,026$), mängden organiskt kväve ($P=0,027$) samt andelen ammonium-kväve av totalkväve ($P=0,047$) (tabell 5). Det fanns en signifikant skillnad i mängden totalkväve samt mängden organiskt kväve mellan Kontroll och RP Fiber. En signifikant skillnad i mängden ammonium-kväve samt andel ammonium-kväve av totalkväve fanns mellan Låg RP och Hög fiber. En effekt av mättillfälle fanns på totalkväve ($P=0,003$) och ammonium-kväve ($P=0,013$), en tendens till effekt av mättillfälle fanns på andelen ammonium-kväve av totalkväve ($P=0,061$). Ingen blockeffekt eller interaktion mellan mättillfälle och foderbehandling fanns på de analyserade parametrarna.

Medelvärde för ammoniakkoncentration (ppm) mätt med Kitagawa-pump, totalkväve, ammonium-kväve, organiskt kväve samt andel ammonium-kväve av totalkväve från respektive mättillfälle redovisas i bilaga 4.

Tabell 5. Effekt av foderbehandling och mättillfälle på ammoniakkoncentration (ppm) mätt med Kitagawa-pump, totalkväve, ammonium-kväve, organiskt kväve samt andel ammonium-kväve av totalkväve. Medelvärde ± standard error.

	Ammoniakkoncentration (ppm)	Totalkväve (g/kg ts)	Ammonium-kväve (g/kg ts)	Organiskt kväve (g/kg ts)	Andel Ammonium-kväve av totalkväve (%)
Foderbehandling					
Kontroll	25,25±3,006	43,18 ^a ±1,198	8,98 ^{ab} ±0,739	34,42 ^a ±1,554	20,71 ^{ab} ±2,032
Låg RP	20,41±3,006	39,37 ^{ab} ±1,112	6,66 ^a ±0,659	32,71 ^{ab} ±1,457	17,10 ^a ±1,830
Hög Fiber	23,63±3,006	38,53 ^{ab} ±1,198	10,31 ^b ±0,739	28,22 ^{ab} ±1,554	26,43 ^b ±2,032
RP Fiber	26,06±3,006	35,26 ^b ±1,112	7,70 ^{ab} ±0,659	27,56 ^b ±1,457	21,91 ^{ab} ±1,830
P-värde					
Foderbehandling (F)	0,579	0,007	0,026	0,027	0,047
Mättillfälle (M)	<0,0001	0,003	0,013	0,225	0,061
F*M	0,759	0,351	0,385	0,312	0,420

4.3 Äggkvalitet

Äggkvalitetsanalysen visade en signifikant skillnad ($P < 0,0001$) i gulans färg mellan behandlingarna (tabell 6). Gulans färg för behandlingen Låg RP var vid analys starkare i jämförelse med resterande foderbehandlingar. För övriga analyserade parametrar fanns ingen signifikant skillnad mellan foderbehandlingarna. Signifikant effekt av analysdag fanns på skaltjocklek ($P=0,029$), vitans höjd ($P=0,009$) samt Haugh Units ($P=0,009$). Resterande parametrar visade ingen signifikant skillnad av analysdag.

Tabell 6. Effekt av foderbehandling på inre och yttre äggkvalitet

Parameter	Kontroll	Låg RP	Hög fiber	RP Fiber	Standard error	P-värde
Äggvikt (g)	63,89	63,97	64,90	64,38	0,607	0,626
Skalstyrka (kgF)	4,79	4,92	4,80	5,10	0,115	0,200
Skaltjocklek (mm)	0,390	0,392	0,387	0,392	0,002	0,648
Skalvikt (g)	6,79	6,77	6,74	6,79	0,084	0,973
Andel skal (%)	10,63	10,59	10,39	10,56	0,086	0,217
Gulans vikt (g)	15,99	16,15	15,90	16,11	0,165	0,690
Gulans färg	11,97 ^a	12,69 ^b	12,19 ^a	12,07 ^a	0,102	<0,0001
Andel gula (%)	25,11	25,25	24,56	25,06	0,259	0,253
Vitans höjd (mm)	9,49	9,77	9,90	9,69	0,140	0,221
Vitans vikt (g)	38,68	38,69	39,90	38,90	0,052	0,291
Haugh Units	95,86	97,24	97,64	96,74	0,065	0,246
Vitans torrs substans (%)	11,66	11,74	11,52	11,65	0,109	0,555
Andel vita (%)	60,44	60,48	61,37	60,37	0,358	0,159

4.4 Exteriörbedömning

Resultaten för fjäderdräktsbedömningen visade inga signifikanta skillnader mellan foderbehandlingarna (tabell 7). Däremot fanns en tendens till påverkan av foderbehandling för skador på bakre delen av hönans kropp (P=0,055). För parametrarna bröstben och sår på trampdyna fick endast en höna poäng 2 respektive 3 och resterande höns poäng 4, därav gjordes ingen statistisk analys för dessa parametrar.

Tabell 7. Effekt av foderbehandling på fjäderdräktsbedömning

Parameter	Kontroll	Låg RP	Hög fiber	RP Fiber	Standard error¹	P-värde
Hönans vikt (g)	1760,84	1749,04	1766,83	1739,90	18,037	0,721
Befjädring	21,56	21,18	22,80	21,56	0,705	0,246
Renhet fjäderdräkt	2,44	2,65	2,50	2,49	0,567	0,512
Skador kroppens bakdel	3,08	3,18	3,98	3,98	0,308	0,055
Skador kam	2,36	2,55	2,56	2,70	0,116	0,217
Skador fötter	3,38	3,35	3,09	3,28	0,158	0,621
Renhet fötter	2,75	2,71	2,81	2,76	0,428	0,670
Hyperkeratos	3,09	3,11	3,09	3,14	0,346	0,832
Bumblefoot	3,74	3,85	3,76	3,70	0,507	0,484
Klölängd	2,06	2,05	2,08	2,11	0,295	0,719

¹Medelvärde av standard error

5. Diskussion

Syftet med detta arbete var att under en begränsad period utvärdera vilka effekter värphönsfoder med minskad råproteinhalt i kombination med ökad andel renframställda aminosyror samt ökad andel olösliga fiber har på ammoniakkoncentration i stallet, kväveinnehåll i gödsel, äggkvalitet, äggproduktion och hönans exteriör. Ett kontrollfoder jämfördes med tre olika försöksfoder. Datainsamling begränsades till den period då värphönsen var 20–40 veckor gamla, eventuella förändringar och effekter av foderbehandling längre fram i värpperioden kan därför inte uteslutas.

5.1 Foderkonsumtion och produktion

Parametrarna foderintag, foderomvandlingsförmåga, äggvikt samt värprocent hade alla en effekt av period. Detta är inget förvånande resultat då produktionen ökar i takt med att hönan blir äldre. Äggvikten var i samtliga perioder högre än den äggvikt som anges i Swedfarms produktguide för Bovans Robust (2024). Foderintaget för Låg RP var, med undantag för period ett, högre än förväntat i jämförelse med produktguiden medan Hög Fiber och RP Fiber hade ett lägre foderintag. Denna skillnad kan däremot bero på hur värprocenten är beräknad. I produktguiden anges antal värpta ägg i förhållande till antal insatta hönor medan värprocenten i detta arbete beräknats som antal ägg i förhållande till antal kvarvarande hönor. I jämförelse med samma produktguide var foderomvandlingsförmågan något sämre i period ett medan den var bättre än förväntat i period två till fem, vilket innebär att hönsen åt mindre foder per kg ägg i de senare perioderna.

Ett intressant resultat gällande äggproduktionen är den effekt av foderbehandling som fanns på äggvikten (tabell 4). Ägg från höns som fått Låg RP hade en lägre äggvikt i jämförelse med ägg från de andra foderbehandlingarna. Vilken äggvikt som är önskvärd påverkas däremot av äggpackeriernas prissättning och en lägre äggvikt behöver inte vara negativt. Roberts et al. (2007) fann också en lägre äggvikt hos höns som ätit lågproteinfoder i sin studie när råproteinhalten sänktes med en procentenhet.

Äggvikten influeras av flera faktorer, exempelvis fodrets innehåll av protein och aminosyror (Bouvarel et al. 2011). Den sänkta råproteinhalten i Låg RP kan potentiellt innebära att icke essentiella aminosyror blir begränsade vilket i sin tur begränsar produktionen. Kunskapen kring behovet av dessa aminosyror är begränsad och utrymme för vidare forskning finns (Veens et al. 2009). Det totala behovet av kväve kan också bli en begränsande faktor vid sänkt råproteinhalt enligt Silaban et al. (2017). Uppfylls inte detta behov finns en risk att hönan inte kan syntetisera vissa aminosyror vilket kan påverka äggvikten. Å andra sidan innehöll RP Fiber samma nivå av råprotein som Låg RP (tabell 3) vilket indikerar att den förhöjda fiberhalten i RP Fiber kan ha en inverkan. Som nämnts ovan var däremot äggvikten, även för Låg RP, högre än det värden som anges i Swedfarms produktguide för Bovans Robust (2024) under samtliga perioder vilket indikerar en god produktion. Även hönsens vikt, som mättes vid exteriörbedömningen (tabell 7), var vid 35 veckors ålder högre än det som anges i produktguiden vilket kan vara förklaringen till den högre äggvikten.

5.2 Ammoniak

Vid mätning av ammoniakkoncentration med Kitagawa-pump fanns ingen effekt av foderbehandling, däremot fanns effekt av mättillfälle (tabell 5) samt en blockeffekt. Viktigt att ha i åtanke är att mätningarna med Kitagawa-pump utförts inuti en ventilerad kammare placerad på ströbädden (Svensson 1994) och resultaten från mätningarna kan inte jämföras med de gränsvärden som finns då mätningar för kontroll av gränsvärdet vanligen utförs i den höjd hönsen vistas. Att det inte fanns effekt av foderbehandling men fanns en effekt av mättillfälle och block tyder på att faktorer som exempelvis klimat och placering i stallet hade högre inverkan på ammoniakkoncentrationen än fodersammansättningen i detta försök. Silaban et al. (2017) använde även i sin studie Kitagawa-pump för att mäta ammoniakkoncentration och fann en minskning av ammoniakkoncentrationen med cirka 22% när råproteinhalten sänktes med två procentenheter. En anledning till att resultatet skiljer sig från resultaten i detta arbete kan vara metoden för mätningarna. I studien av Silaban et al. (2017) samlades gödselprov in för att sedan homogeneras och placeras i bågare som förslöts med paraffin, i dessa bågare utfördes mätningarna med Kitagawa-pump. Denna metod tar potentiellt bort den effekt av stallklimat som syns i resultaten från försöket på Lövsta.

Resultaten från analyserna av träckprover visade en signifikant lägre mängd totalkväve i gödseln från de höns som fått RP Fiber i jämförelse med Kontroll (tabell 5). Under de tillfällen träckprover samlades in utfodrades hönsen med fas 2 fodret, i denna fas var RP Fiber det foder med lägst råproteinhalt medan Kontroll hade högst innehåll av

råprotein (tabell 3). Eftersom mängden råprotein är avgörande för mängden kväve som utsöndras i träcken kan detta vara en förklaring till skillnaden mellan RP Fiber och Kontroll (Li et al. 2012). Däremot hade Kontroll och Hög Fiber en likvärdig råproteinhalt, trots detta fanns ingen signifikant skillnad i totalkväve mellan Hög Fiber och RP Fiber. Träckproverna visade också en signifikant skillnad av mängden ammonium-kväve i gödseln mellan Hög Fiber och Låg RP, där gödseln från höns som fått Hög Fiber hade högre nivåer ammonium-kväve (tabell 5). Då litteraturen beskriver att en ökad fiberhalt i fodret kan leda till ökad mängd mikrobiellt kväve i träcken, och därmed en minskad mängd ammonium-kväve (Roberts et al. 2007; Li et al. 2012; Naseem & King 2018), var detta resultat inte förväntat. Det oväntade resultatet kan bero på metoden som använts. Insamling av träckprover skedde genom att gödsel skrapades ihop under det upphöjda spaltgolvet vilket kan ha lett till att all insamlad träck inte var färsk. Inför insamling av träckprover stängdes utgödslingen tillfälligt för att säkerställa att tillräcklig mängd gödsel fanns under det upphöjda spaltgolvet, detta gör att träcken som samlats in legat olika lång tid under spaltgolvet. Därav kan en del av det ammonium-kväve som utsöndrats i hönsans träck ha omvandlats till ammoniak och avgått till luften innan insamlingen av träckprovet skedde. Inför framtida likande försök kan det vara önskvärt att hitta en metod där det säkerställs att all analyserad träck är färsk för att få tillförlitliga resultat.

5.3 Äggkvalitet

Äggvikten för samtliga behandlingar varierade mellan 63,28 och 65,51 gram (tabell 6) vid äggkvalitetsanalysen vilket placerar äggen i klass L (63–73 gram) enligt den europeiska klassificeringen (Kommissionens förordning 589/2008). Detta är högre än den äggvikt (61,3 gram) som Swedfarms produktguide för Bovans Robust (2024) anger vid 35 veckors ålder samt högre än den äggvikt (62,67–63,18 gram) som registrerades för produktionsdata under period 4 (bilaga 3). Detta kan bero på endast 40 ägg från varje foderbehandling användes för äggkvalitetsanalysen medan produktionsdata innehåller samtliga värpta ägg från foderbehandlingarna och är ett medelvärde av alla värpta ägg under 28 dagar, där vecka 35 är den sista veckan i period 4. Vid insamling av ägg till kvalitetsanalysen kan det ha funnits en omedveten tendens att plocka större ägg, vilket kan vara en möjlig anledning till att äggvikten skiljer sig.

Resultaten från äggkvalitetsanalysen visar att andelen skal varierade mellan 10,30 och 10,72% (tabell 6) medan andelen vita varierade mellan 60,01 och 61,73% (tabell 6). Enligt Stadelman (2003) består ett ägg av omkring 10% skal och 60% vita vilket stämmer överens med resultatet från äggkvalitetsanalysen i detta arbete. Stadelman

(2003) anger vidare att gulan står för omkring 30% av äggets totala vikt, i detta fall skiljer sig resultaten från äggkvalitetsanalysen utförd i detta arbete då gulan utgjorde 24,30 till 25,51% av ägget (tabell 6). Vid summering av andel skal, andel vita och andel gula (tabell 6) från äggkvalitetsanalysen uppnås inte 100%. Detta kan bero på att membranet på äggskalets insida togs bort inför vägning av skalet samt att en viss del vita fastnat på instrumenten under analysens gång. Under förutsättning att membranet och bortfall av äggvita utgör de saknande procenten kan det antas att andelen vita är något högre än angett och därmed högre än det generella värde som anges i litteraturen (Stadelman 2003). Enligt Jin et al. (2010) är mängden gula relativt konstant under värperioden medan mängden vita ökar i samband med ökad äggvikt. Då äggkvalitetsanalysen visade en högre äggvikt än det riktvärde som anges för 35 veckor (Swedfarm 2024), kan korrelationen mellan äggvikt och mängden äggvita vara en förklaring till att andelen vita i detta försök är högre än vad Stadelman (2003) anger.

Äggvitans torrs substans varierade mellan 11,41 och 11,85% (tabell 6) vilket överensstämmer med de värden som anges i litteraturen (Hrabia 2022). En påverkan av lagringstid fanns på äggvitans höjd och Haugh Units vilket var förväntat i enlighet med Roberts (2004) beskrivning av lagringstidens påverkan.

En signifikant skillnad fanns i äggulans färg (tabell 6). Gulan i ägg från de höns som fått Låg RP fick en högre poäng på Roche-skalan jämfört med resterande foderbehandlingar vilket indikerar en starkare, mer pigmenterade färg. Låg RP innehöll mer majs i förhållande till resterande försöksfoder, omkring dubbelt så mycket i jämförelse med Kontroll och Hög fiber (tabell 1) vilket kan vara en förklaring till den mer pigmenterade gulan då majs har ett högt innehåll av xantofyll (Elwinger 2013). Något som bör tas med i beräkningen är att metoden för bedömning av äggulans färg kan påverka resultatet. För att undvika att den visuella bedömningen av gulans färg påverkades av dagsljus, belysning samt vem som utför bedömningen utfördes alla bedömningar av samma person och i samma rum.

Utöver skillnad i äggulans färg gav foderbehandlingarna ingen signifikant effekt på äggkvaliteten vilket indikerar att foder med minskad råproteinhalt i kombination med ökad andel renframställda aminosyror samt ökad andel olösliga fiber inte påverkar äggkvaliteten negativt. Då äggkvalitetsanalysen genomfördes när hönsen nått en ålder av 35 veckor kan påverkan längre fram i värperioden inte uteslutas.

5.4 Exteriörbedömning

Vid exteriörbedömningen fanns ingen signifikant effekt av foderbehandling. Att ingen effekt av ökad fiberhalt fanns stämmer överens med resultat från tidigare studier då en ökad fiberhalt i pelleterat foder testats (Wahlström et al. 1998; Hetland et al. 2004). Enligt Tauson et al. (2005) indikerar fjäderdräktspoäng över 18–20 ett gott skick på fjäderdräkten. I bedömningen som utfördes när hönsen var 35 veckor var medelvärdet för fjäderdräktspoäng över 21 för samtliga foderbehandlingar vilket indikerar att försöksfodren inte gett upphov till någon utbredd fjäderplockning. Att gruppen som fått Låg RP inte visade tecken på mer fjäderplockning än övriga grupper är positivt då en tidigare studie av Ambrosen & Petersen (1997) fann en tydligt negativ effekt på fjäderplockning och kannibalism av foder med sänkt råproteinhalt. Däremot är hönsen ålder viktig att ta i beaktning i detta sammanhang då de fortfarande var relativt unga vid bedömningen och fjäderdräkts skick ofta försämras vid ökad ålder (Iqbal et al. 2020). Vid fjäderdräktsbedömningen varierade vikten på hönsen mellan 1722–1785 gram (tabell 7), vilket är något högre än det riktvärde för kroppsvikt (1660 gram) som anges i Swedfarms produktguide (2024). Den högre kroppsvikten kan vara förklaringen till att även äggvikten för samtliga foderbehandlingar var högre än den äggvikt som anges i produktguiden då ökad kroppsvikt leder till ökad äggvikt.

De parametrar som bedömdes vid exteriörbedömningen och fick medelpoäng under 3 var skador på kam, fjäderdräkten och fötternas renhet samt klolängd (tabell 7). Medelpoängen för skador på hönsens kam var vid bedömningen mellan 2,36–2,70 för foderbehandlingarna. Detta indikerar att det förekommit viss hackning mot kammen, troligen i ett läge där hönsen etablerat en social rangordning (Cronin & Glatz 2020). Att fjäderdräkten och fötternas var något smutsiga kan bero på att gödsel kontaminerat hönan, ett problem som kan uppstå till följd av lösliga fibrer i fodret vilket kan leda till kletig träck (Desbruslais et al. 2021). Gällande den sistnämnda parametern med medelpoäng under 3, klolängd, indikerar en låg poäng längre klor. De längre klorna kan potentiellt leda till att rivsår uppstår på andra höns i gruppen samt ökad risk att klon fastnar i inredning och skador uppstår (Tauson 1986; Shi et al. 2019).

Även om någon signifikant effekt inte sågs på de parametrar som bedömdes vid exteriörbedömningen sågs en tendens till effekt av behandling för skador på bakre delen av hönans kropp (tabell 7). Dessa skador kan uppstå till följd av fjäderplockning när hönan drar ut fjädrarna på en annan höna, såren som uppstår kan i sin tur attrahera mer fjäderplockning och i förlängningen leda till kannibalism (Blokhuys & Wiepkema 1998). Numeriskt fick de foderbehandlingar med hög fiberhalt (Hög Fiber & RP Fiber) högre medelpoäng på parametern i jämförelse med Kontroll och Låg RP. Då en ökad

fibernivå kan motverka fjäderplockning (Steenfeldt et al. 2007) blir det intressant att se om det kommer finnas en effekt av foderbehandling vid den fjäderdräktsbedömning som ska genomföras då hönsen är 50 veckor gamla, men som av tidsskäl inte kunde inkluderas i detta examensarbete.

6. Slutsats

En sänkning av råproteinhalten med 1,5 procentenheter samt en ökning av NSP-halten med 2 procentenheter hade inga negativa effekter på foderkonsumtion, äggproduktion, äggkvalitet och befjädring under den del av värperioden som studerats i detta arbete. Skillnad fanns i gulans färg samt äggvikten hos de höns som fått foder med minskad råproteinhalt, men hönsen kunde fortsatt upprätthålla en god produktion. Detta indikerar att denna foderanpassning är möjlig att genomföra utan nedsatt produktion och välfärd hos värphöns upp till 40 veckors ålder. Det behövs vidare forskning för att avgöra huruvida råproteinhalten kan sänkas ytterligare samt hur mycket fiberhalten kan ökas. Vid ytterligare sänkt råproteinhalt kommer även vidare forskning kring icke essentiella aminosyror bli mer aktuellt då dessa kan bli en begränsande faktor. Foderbehandlingarna visade ingen effekt på ammoniakkoncentrationen mätt med Kitagawa-pump, men en effekt av foderbehandling fanns på de parametrar som analyserades i träckproverna. Utifrån dessa resultat är det svårt att dra slutsatser kring hur foderanpassningarna påverkat ammoniakproduktionen. För att kunna säkerställa vilka effekter sänkt råproteinhalt samt ökad NSP-halt har på ammoniakproduktionen finns det i framtiden utrymme för förbättring av mätmetoderna för att utesluta påverkande faktorer.

Referenser

- Aerni, V., El-Lethey, H. & Wechsler, B. (2000). Effect of foraging material and food form on feather pecking in laying hens. *British Poultry Science*. 41 (1), 16–21.
<https://doi.org/10.1080/00071660086349>
- Alagawany, M., El-Hack, M.E.A., Laudadio, V. & Tufarelli, V. (2014). Effect of Low-Protein Diets with Crystalline Amino Acid Supplementation on Egg Production, Blood Parameters and Nitrogen Balance in Laying Japanese Quails. *Avian Biology Research*. 7 (4), 235–243. <https://doi.org/10.3184/175815514X14152945166603>
- Alig, B.N., Malheiros, R.D. & Anderson, K.E. (2023). Evaluation of Physical Egg Quality Parameters of Commercial Brown Laying Hens Housed in Five Production Systems. *Animals*. 13 (4), 716. <https://doi.org/10.3390/ani13040716>
- Ambrosen, T. & Petersen, V. (1997). The influence of protein level in the diet on cannibalism and quality of plumage of layers. *Poultry Science*. 76 (4), 559–563.
<https://doi.org/10.1093/ps/76.4.559>
- Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd (AFS 2018:1) om hygieniska gränsvärden.
- Bach Knudsen, K.E. (1997). Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Animal Feed Science and Technology*. 67 (4), 319–338.
[https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(97\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00009-6)
- Bederska-Łojewska, D., Arczewska-Włosek, A., Świątkiewicz, S., Orczewska-Dudek, S., Schwarz, T., Puchała, M., Krawczyk, J., Boros, D., Fraś, A., Micek, P. & Rajtar, P. (2019). The effect of different dietary levels of hybrid rye and xylanase addition on the performance and egg quality in laying hens. *British Poultry Science*. 60 (4), 423–430. <https://doi.org/10.1080/00071668.2019.1605149>
- Bestman, M.W.P. & Wagenaar, J.P. (2003). Farm level factors associated with feather pecking in organic laying hens. *Livestock Production Science*. 80 (1), 133–140.
[https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00314-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00314-7)
- Blokhuis, H.J. & Wiepkema, P.R. (1998). Studies of feather pecking in poultry. *The Veterinary Quarterly*. 20 (1), 6-9.
- Bouvarel, I., Nys, Y. & Lescoat, P. (2011). 12 - Hen nutrition for sustained egg quality. I: Nys, Y., Bain, M., & Van Immerseel, F. (red.) *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products*. Woodhead Publishing. 261–299.
<https://doi.org/10.1533/9780857093912.3.261>

- Bovšková, H., Míková, K. & Panovská, Z. (2014). Evaluation of egg yolk colour. *Czech Journal of Food Sciences*. 32 (3), 213–217. <https://doi.org/10.17221/47/2013-CJFS>
- Cavero, D., Schmutz, M., Icken, W. & Preisinger, R. (2012). Attractive Eggshell Color as a Breeding Goal. *Lohmann Information*. 47 (2), 15-21.
- Cronin, G.M. & Glatz, P.C. (2020). Causes of feather pecking and subsequent welfare issues for the laying hen: a review. *Animal Production Science*, 61 (10), 990–1005. <https://doi.org/10.1071/AN19628>
- Desbruslais, A., Wealleans, A., Gonzalez-Sanchez, D. & di Benedetto, M. (2021). Dietary fibre in laying hens: a review of effects on performance, gut health and feather pecking. *World's Poultry Science Journal*. 77 (4), 797–823. <https://doi.org/10.1080/00439339.2021.1960236>
- El-Lethey, H., Aerni, V., Jungi, T.W. & Wechsler, B. (2000). Stress and feather pecking in laying hens in relation to housing conditions. *British Poultry Science*. 41 (1), 22–28. <https://doi.org/10.1080/00071660086358>
- Elliot, M.A. (2008). Amino acid nutrition of commercial pullets and layers. I: Hotel, L. (red) *Intermountain Nutrition Conference – Dairy Nutritional Strategies to Meet Economic and Environmental Challenges (10th Annual Meeting)* January 29-30, Salt Lake City, USA. 193-224.
- Elwinger, K. (2013). Fodermedel och foder till värphöns och slaktkycklingar. Institutionen för husdjurens utfodring och vård, SLU.
- FAO (2022). *Agricultural production statistics 2000–2021*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Freefarm (2024). *Fodertabell för fågel*. <http://www2.freefarm.se/fodertabell/fodtab.pl?djur=fjaderfa> [2024-03-11]
- Giftinformationscentralen (2023). *Ammoniak*. <https://giftinformation.se/kemikalierregister/ammoniak/> [2023-09-20]
- Han, Y.-K. & Thacker, P.A. (2011). Influence of Energy Level and Glycine Supplementation on Performance, Nutrient Digestibility and Egg Quality in Laying Hens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 24 (10), 1447–1455.
- Hartini, S. & Choct, M. (2010). The effect of non-starch polysaccharides derived from different grains on performance and digestive activity in laying hens. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*. 35 (2), 95–100.
- He, Z., Zhang, Y., Liu, X., Xu, W., Hou, Y., Wang, H. & Zhang, F. (2022). Ammonia mitigation potential in an optimized crop-layer production system. *Science of The Total Environment*. 841, (156701). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156701>
- Hetland, H., Choct, M. & Svihus, B. (2004). Role of insoluble non-starch polysaccharides in poultry nutrition. *World's Poultry Science Journal*. 60 (4), 415–422. <https://doi.org/10.1079/WPS200325>
- Hrabia, A. (2022). Chapter 35 - Reproduction in the female. I: Scanes, C.G. & Dridi, S. (red.) *Sturkie's Avian Physiology (Seventh Edition)*. Academic Press. 941–986. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819770-7.00002-5>

- Huopalahti, R., López-Fandiño, R., Anton, M. & Schade, R. (red.) (2007). *Bioactive egg compounds*. Springer.
- Iio, W., Shimada, R., Nonaka, I. & Ogino, A. (2023). Effects of a low-protein diet supplemented with essential amino acids on egg production performance and environmental gas emissions from layer-manure composting in laying hens in the later laying period. *Animal Science Journal*. 94 (1), 1-8.
<https://doi.org/10.1111/asj.13853>
- Iqbal, Z., Drake, K., Swick, R.A., Taylor, P.S., Perez-Maldonado, R.A. & Ruhnke, I. (2020). Effect of pecking stones and age on feather cover, hen mortality, and performance in free-range laying hens. *Poultry Science*. 99 (5), 2307–2314.
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.068>
- Jacob, J.P., Miles, R.D. & Mather, F.B. (2000). *Egg Quality*. University of Florida.
<https://jlmmissouri.com/wp-content/uploads/2014/06/Egg-Quality.pdf> [2023-09-26]
- Jeremiasson, A., Carlsson, B., Jamieson, M., Hagberg, C. & Gotborn, E. (2019). *Minskad ammoniakavgång i värphönsstallar - Resultat och erfarenheter från genomfört projekt*. <https://www.svenskaagg.org/attachments/92/2166.pdf> [2023-09-19]
- Jin, Y.H., Lee, K.T., Lee, W.I. & Han, Y.K. (2010). Effects of Storage Temperature and Time on the Quality of Eggs from Laying Hens at Peak Production. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 24 (2), 279–284.
<https://doi.org/10.5713/ajas.2011.10210>
- Johnson, A.L. (1999). Reproduction in the Female. I: Whittow, G.C. (red.) *Sturkie's Avian Physiology. 5th edition*. Academic Press. 569–596.
- Jordbruksverket (2022). *Livsmedelskonsumtion av animalier, Preliminära uppgifter 2022*. <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2023-03-17-livsmedelskonsumtion-av-animalier.-preliminara-uppgifter-2022> [2023-09-05]
- Ketta, M. & Tůmová, E. (2016). Eggshell structure, measurements, and quality-affecting factors in laying hens: a review. *Czech Journal of Animal Science*. 61 (7), 299–309.
<https://doi.org/10.17221/46/2015-CJAS>
- Kirunda, D.F.K. & McKee, S.R. (2000). Relating Quality Characteristics of Aged Eggs and Fresh Eggs to Vitelline Membrane Strength as Determined by a Texture Analyzer. *Poultry Science*. 79 (8), 1189–1193. <https://doi.org/10.1093/ps/79.8.1189>
- Kommissionens förordning (EG) 589/2008 av den 23 juni 2008 om tillämpningsfreskrifter för rådets förordning (EG) nr 1234/2007 när det gäller handelsnormer för ägg (EUT L 163/3, 24.6.2008). <http://data.europa.eu/eli/reg/2008/589/oj>
- Ledvinka, Z., Zita, L. & Klesalová, L. (2012). Egg quality and some factors influencing it: A review. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 43 (1), 46–52.
- Li, H., Xin, H., Burns, R.T., Roberts, S.A., Li, S., Kliebenstein, J. & Bregendahl, K. (2012). Reducing ammonia emissions from laying-hen houses through dietary manipulation. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 62 (2), 160–169.
<https://doi.org/10.1080/10473289.2011.638414>

- Liang, Y., Xin, H. & Li, H. (2005). Dietary Manipulation to Reduce Ammonia Emission from High-Rise Layer Houses. *Iowa State University Animal Industry Report*. 2 (1). https://doi.org/10.31274/ans_air-180814-1099
- Macelline, S.P., Toghyani, M., Chrystal, P.V., Selle, P.H. & Liu, S.Y. (2021). Amino acid requirements for laying hens: a comprehensive review. *Poultry Science*. 100 (5), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101036>
- Michard, J. (2016). Dietary fibre – the forgotten nutrient? *International Poultry Production*. 19 (7). 29-31.
- Naseem, S. & King, A.J. (2018). Ammonia production in poultry houses can affect health of humans, birds, and the environment—techniques for its reduction during poultry production. *Environmental Science and Pollution Research*. 25 (16), 15269–15293. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2018-y>
- National Research Council (1994). *Nutrient Requirements of Poultry: Ninth Revised Edition*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/2114>
- Naturvårdsverket (2023). *Ammoniak (NH3)*. <https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/sv/Amnen/Andra-gaser/Ammoniak/> [2023-09-20]
- Nguyen, H.T., Bedford, M.R. & Morgan, N.K. (2021). Importance of considering non-starch polysaccharide content of poultry diets. *World's Poultry Science Journal*. 77 (3), 619–637. <https://doi.org/10.1080/00439339.2021.1921669>
- NMKL. (2003). Determination in feeds and faeces according to Kjeldahl. Nordic committee on food analysis, Oslo, Norway.
- Oenema, O., Bannink, A., Sommer, S.G., Van Groenigen, J.W. & Velthof, G.L. (2008). Chapter 12 - Gaseous Nitrogen Emissions from Livestock Farming Systems. I: Hatfield, J.L. & Follett, R.F. (red.) *Nitrogen in the Environment (Second Edition)*. Academic Press. 395–441. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374347-3.00012-3>
- Official Journal of the European Communities: Determination of crude oils and fat. Commission Directive 152/2009 EC (2009). H. Determination of crude oils and fats.
- Ritz, C.W., Fairchild, B.D. & Lacy, M.P. (2004). Implications of Ammonia Production and Emissions from Commercial Poultry Facilities: A Review. *Journal of Applied Poultry Research*. 13 (4), 684–692. <https://doi.org/10.1093/japr/13.4.684>
- Rizzi, C. (2021). Albumen Quality of Fresh and Stored Table Eggs: Hen Genotype as a Further Chance for Consumer Choice. *Animals*. 11 (1), 135. <https://doi.org/10.3390/ani11010135>
- Roberts, J.R. (2004). Factors Affecting Egg Internal Quality and Egg Shell Quality in Laying Hens. *The Journal of Poultry Science*. 41 (3), 161–177. <https://doi.org/10.2141/jpsa.41.161>
- Roberts, S., Bregendahl, K., Xin, H., Kerr, B.J. & Russell, J.R. (2006). Adding Fiber to the Diet of Laying Hens Reduces Ammonia Emission. *Iowa State University Animal Industry Report*. 3 (1). https://doi.org/10.31274/ans_air-180814-195

- Roberts, S.A., Xin, H., Kerr, B.J., Russell, J.R. & Bregendahl, K. (2007). Effects of Dietary Fiber and Reduced Crude Protein on Ammonia Emission from Laying-Hen Manure. *Poultry Science*. 86 (8), 1625–1632. <https://doi.org/10.1093/ps/86.8.1625>
- Sachs, G., Scott, D.R., Weeks, D.L., Rektorscheck, M. & Melchers, K. (2001). Regulation of Urease for Acid Habitation. I: Mobley, H.L., Mendz, G.L., & Hazell, S.L. (red.) *Helicobacter pylori: Physiology and Genetics*. ASM Press.
- Shi, H., Li, B., Tong, Q. & Zheng, W. (2019). Effects of different claw-shortening devices on claw condition, fear, stress, and feather coverage of layer breeders. *Poultry Science*, 98 (8), 3103–3113. <https://doi.org/10.3382/ps/pez083>
- Siegert, W. & Rodehutsord, M. (2018). Nonessential amino acids-the forgotten nutrients? I: Prukner-Radovčić, E. & Medić, H. (red.) *The XVth European Poultry Conference*, September 17-21, Dubrovnik, Croatia. 52-59.
- Siegert, W. & Rodehutsord, M. (2019). The relevance of glycine and serine in poultry nutrition: a review. *British Poultry Science*. 60 (5), 579–588. <https://doi.org/10.1080/00071668.2019.1622081>
- Silaban, R., Sumiati, S., Adrizal, A., Yusrizal, Y., Sumadja, W.A., Yatno, Y., Noferdiman, N., Koh, K. & Rahman, M. (2017). Nitrogen and Ammonia Mitigation on Laying Hen Farms: Effects of Low-protein Diet and Manure Filtering. *International Journal of Poultry Science*. 16, 125–131.
- Silversides, F.G. & Scott, T.A. (2001). Effect of Storage and Layer Age on Quality of Eggs From Two Lines of Hens. *Poultry Science*. 80 (8), 1240–1245. <https://doi.org/10.1093/ps/80.8.1240>
- Spiller, G.A. (2001). *CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition*. 3rd edition, CRC Press.
- Stadelman, W.J. (2003). EGGS | Dietary Importance. I: Caballero, B. (red.) *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*. Academic Press. 2009–2012. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00388-6>
- Statens jordbruksverks föreskrifter och allmänna råd (SJVFS 2022:5) om fjäderfåhållning inom lantbruket m.m., saknr L 111.
- Steenfeldt, S., Kjaer, J.B. & Engberg, R.M. (2007). Effect of feeding silages or carrots as supplements to laying hens on production performance, nutrient digestibility, gut structure, gut microflora and feather pecking behaviour. *British Poultry Science*. 48 (4), 454–468. <https://doi.org/10.1080/00071660701473857>
- SVA (2022). *Tamhöns - SVA*. <https://www.sva.se/produktionsdjur/fjaderfa/arter-som-raknas-till-fjaderfan/tamhons/> [2023-09-05]
- Svenska ägg (2020). *Det svenska ägget och klimatet*. https://www.svenskaagg.se/sva-pdf/Agg_Livscykelanalys.pdf [2023-09-05]
- Svenska ägg (2023). *Ägg är supermat*. <https://xn--svenskagg-12a.com/?p=19807&m=3518> [2023-09-05]

- Svensson, L. (1994): A New Dynamic Chamber Technique for Measuring Ammonia Emissions from Land-Spread Manure and Fertilizers, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 44:1, 35-46.
- Swedfarm (2024). *Bovans Rubust Produktguide Frigående Inomhus*. [Broschyr]. Swedfarm. <https://swedfarm.se/hons/bovans-robust/> [2024-04-19]
- Tauson, R. (1986). Avoiding Excessive Growth of Claws in Caged Laying Hens. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 36 (1), 95–105. <https://doi.org/10.1080/00015128609435798>
- Tauson, R., Kjaer, J., Maria, G.A., Cepero, R. & Holm, K.-E. (2005). Applied Scoring of Integument and Health in Laying Hens. *Animal Science Papers and Reports*.
- Theander, O., Åman, P., Westerlund, E., Andersson, R. & Pettersson, D. (1995). Total Dietary Fiber Determined as Neutral Sugar Residues, Uronic Acid Residues, and Klason Lignin (The Uppsala Method): Collaborative Study. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*. 78 (4), 1030–1044. <https://doi.org/10.1093/jaoac/78.4.1030>
- Van Krimpen, M.M., Kwakkel, R.P., Reuvekamp, B.F.J., Van Der Peet-Schwering, C.M.C., Den Hartog, L.A. & Verstegen, M.W.A. (2005). Impact of feeding management on feather pecking in laying hens. *World's Poultry Science Journal*. 61 (4), 663–686. <https://doi.org/10.1079/WPS200478>
- Veens, T., Namkung, H. & Leeson, S. (2009). Limits to Protein in Layer Diets Relative to Mitigating Ammonia Emission. *Avian Biology Research*. 2 (3), 143–150. <https://doi.org/10.3184/175815509X12473925659835>
- Wahlström, A., Tauson, R. & Elwinger, K. (1998). Effects on plumage condition, health and mortality of dietary oats/wheat ratios to three hybrids of laying hens in different housing systems. *Acta Agriculturae Scandinavica A — Animal Science*, 48:4, 250–259. <https://doi.org/10.1080/09064709809362428>
- Welfare Quality Network (2019). *Welfare Quality assessment protocol for laying hens, version 2.0*. Welfare Quality Network.
- Zaffarano, B. (2016). Chicken skin disease: 5 categories and how to treat them. *NAVC Conference* January 16-20, Orlando. 1385-1389.

Populärvetenskaplig sammanfattning

Ägget är ett av våra mest näringstäta livsmedel och den svenska äggproduktionen har hög självförsörjningsgrad. Idag hålls majoriteten av de svenska hönsen i frigående system inomhus. Detta ger djuren en ökad möjlighet att utföra naturliga beteende som att sandbada och sprätta runt i sökandet efter föda, men de frigående systemen ökar också problemen med höga ammoniakhalter i värphönsstall. Hönsens gödsel är mycket kväverik och dessa kväveföreningar kan brytas ner till ammoniak som avgår till luften. I de frigående systemen finns ströbädden och till viss del gödseln kvar i stallet vilket ökar ammoniakavgången. Högt pH, högre temperatur och fuktig ströbädd kan också bidra till högre avgång av gasen.

För att undvika höga halter av ammoniak i värphönsstall, och därmed undvika de skadliga effekter gasen kan ha på höns och människor som vistas i stallet, finns en mängd skötselrelaterade åtgärder. Exempelvis kan golvvärme bidra till att ströbädden torkar upp, ventilationen kan optimeras för ett bättre stallklimat och tillsatser i strömaterialet kan sänka ströbäddens pH. Utöver detta kan foderanpassningar göras för att minska ammoniakavgången. Mer kväve i gödseln innebär mer kväveföreningar som kan omvandlas till ammoniak. Därav kan en minskning av protein i fodret leda till minskad ammoniakavgång. Avgången kan också reduceras genom att höja andelen fiber i fodret då fiber gynnar de bakterier som omvandlar kvävet till mer stabilt protein samt bildar flyktiga fettsyror som kan sänka pH.

Syftet med detta arbete var att utvärdera vilka effekter en anpassad fodersammansättning har på ammoniakkoncentration, äggkvalitet, äggproduktion samt hönsens fjäderdräkt. Arbetet genomfördes som en del av en utfodringsstudie på Lövsta Lantbruksforskning, SLU, där foder med minskad proteinhalt och ökad andel fiber testades. Datainsamlingen pågick tills hönsen var 40 veckor gamla. Fodrets påverkan på ammoniakkoncentrationen utvärderades genom mätningar i stallet samt analyser av gödsel på laboratorium. En äggkvalitetsanalys och en bedömning av fjäderdräkten genomfördes när hönsen var 35 veckor gamla. För att studera foderanpassningens inverkan på äggproduktion och foderintag registrerades äggvikt, antal lagda ägg samt foderintag under hela försöket.

Vid äggkvalitetsanalysen hade ägg från de höns som ätit foder med minskad proteinhalt en mer pigmenterad gula i jämförelse med resterande ägg, vilket tros bero på att detta foder innehöll mer majs vars innehåll av pigment är högt. Äggvikten från samtliga grupper var högre än förväntat, men ägg från de grupper som ätit lågproteinodret hade lägre vikt i jämförelse med de andra grupperna. Vid bedömning av hönsens fjäderdräkt fanns inga skillnader mellan fodren vilket tyder på att hönsen varken fjäderplockat mer eller mindre till följd av foderanpassningarna. Foderintag, foderomvandlingsförmåga och värprocent skiljde sig heller inte mellan grupperna. Detta tyder på att foderanpassningarna går att genomföra utan att påverka hönsens produktion och välfärd negativt. Gällande ammoniakkoncentrationen hittades inga skillnader vid mätningarna i stallet, men skillnader fanns i de analyserade gödselproverna. Dessa resultat gör det svårt att dra slutsatser kring fodrets påverkan på ammoniakkoncentrationen.

Bilaga 1

Optimerad aminosyranivå i försöksfodren, smältbara aminosyror g/kg foder

Aminosyra	Kontroll	Låg RP	Hög Fiber	RP Fiber
<i>Försöksfoder fas 1</i>				
Alanin	6,1	5,5	6,1	5,5
Arginin	10,0	9,9	10,3	9,9
Asparbinsyra	12,1	9,9	12,2	10,0
Cystein	3,3	2,8	3,2	2,9
Fenylalanin	7,1	6,1	7,0	5,9
Glutamin	34,0	29,1	32,7	27,5
Glycin	6,5	7,3	6,7	7,3
Histidin	3,7	3,9	3,7	3,9
Isoleucin	6,2	6,2	6,2	6,2
Leucin	10,6	9,4	10,4	9,2
Lysin	7,7	7,7	7,7	7,7
Metionin	4,3	4,3	4,3	4,3
Prolin	10,3	9,0	9,6	8,4
Serin	6,9	5,8	6,7	5,7
Treonin	5,4	5,4	5,4	5,4
Tryptofan	2,1	1,9	2,1	2,0
Tyrosin	5,9	5,0	5,8	5,0
Valin	6,9	6,8	6,9	6,8

Försöksfoder fas 2

Alanin	6,0	5,6	6,0	5,2
Arginin	9,8	9,6	10,0	9,6
Asparginasyra	11,6	10,0	11,6	9,5
Cystein	2,8	2,5	2,7	2,4
Fenylalanin	6,9	6,1	6,8	5,8
Glutamin	33,0	28,7	31,7	27,2
Glycin	6,5	7,1	6,6	7,4
Histidin	3,6	3,8	3,6	3,9
Isoleucin	6,1	6,1	6,1	6,1
Leucin	10,4	9,6	10,1	9,0
Lysin	7,5	7,5	7,5	7,5
Metionin	4,2	4,2	4,2	4,2
Prolin	10,1	9,0	9,4	8,6
Serin	6,7	5,9	6,5	5,6
Treonin	5,3	5,3	5,3	5,3
Tryptofan	1,8	1,7	1,8	1,7
Tyrosin	5,3	4,7	5,1	4,4
Valin	6,8	6,6	6,7	6,6

Bilaga 2

Analyserad aminosyranivå i försöksfodren, g/kg foder

Aminosyra	Kontroll	Låg RP	Hög Fiber	RP Fiber
<i>Försöksfoder fas 1</i>				
Alanin	7,32	6,47	7,74	6,43
Arginin	10,8	10,2	11,4	10,3
Asparbinsyra	14,1	11,6	14,9	11,5
Cystein + Cystine	3,28	2,83	3,37	2,87
Fenylalanin	8,06	7,09	8,43	6,69
Glutaminsyra	38,8	33,5	39,2	30,8
Glycin	7,96	8,20	8,52	8,18
Histidin	4,24	4,15	4,41	4,29
Hydroxiprolin	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Isoleucin	6,63	6,54	7,02	6,50
Leucin	12,6	11,2	13,1	10,9
Lysin	8,89	8,51	9,53	8,33
Metionin	4,56	4,53	5,01	4,46
Ornitin	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Prolin	11,3	9,71	10,8	9,07
Serin	8,09	6,81	8,45	6,67
Treonin	6,54	6,15	7,05	6,15
Valin	7,89	7,50	8,32	7,42

Försöksfoder fas 2

Alanin	6,79	6,47	7,06	6,04
Arginin	9,51	9,67	10,3	9,80
Asparginasyra	12,5	11,4	13,2	11,1
Cystein + Cystine	3,29	2,72	3,06	3,01
Fenylalanin	7,21	6,73	7,32	6,67
Glutaminsyra	34,2	31,9	33,2	29,5
Glycin	7,33	7,75	7,63	8,00
Histidin	3,79	3,85	3,68	4,21
Hydroxiprolin	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Isoleucin	6,15	6,27	6,26	6,30
Leucin	11,2	10,7	11,3	10,1
Lysin	8,33	8,27	8,52	8,41
Metionin	4,07	4,14	4,30	4,11
Ornitin	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Prolin	10,3	9,38	9,78	9,64
Serin	7,33	6,67	7,44	6,46
Treonin	6,10	6,00	6,41	6,07
Valin	7,32	7,05	7,36	7,08

Bilaga 3

*Foderintag, foderomvandlingsförmåga, äggvikt och värpprocent för respektive foder under perioderna.
Medelvärde±standard error.*

Parameter	Period	Kontroll	Låg RP	Hög Fiber	RP Fiber
Foderintag (g/höna/dag)	1	96,64±1,802	98,34±1,802	99,88±1,802	97,47±1,802
	2	111,66±1,802	115,09±1,802	116,45±1,802	113,23±1,802
	3	113,70±1,802	120,02±1,802	116,55±1,802	116,22±1,802
	4	120,27±1,802	121,54±1,802	115,01±1,802	115,50±1,802
	5	119,29±1,802	117,34±1,802	111,75±1,802	114,95±1,802
Foderomvandlingsförmåga (kg foder/kg ägg)	1	3,10±0,038	3,19±0,038	3,16±0,038	3,12±0,038
	2	1,95±0,038	2,02±0,038	2,04±0,038	1,98±0,038
	3	1,88±0,038	2,01±0,038	1,93±0,038	1,94±0,038
	4	1,94±0,038	1,98±0,038	1,85±0,038	1,87±0,038
	5	1,92±0,038	1,92±0,038	1,79±0,038	1,84±0,038
Äggvikt (g)	1	51,95±0,144	51,24±0,144	52,56±0,144	52,04±0,144
	2	58,69±0,144	58,37±0,144	58,67±0,144	58,76±0,144
	3	61,67±0,144	61,20±0,144	61,67±0,144	61,61±0,144
	4	63,00±0,144	62,67±0,144	63,18±0,144	62,89±0,144
	5	63,60±0,144	62,91±0,144	63,81±0,144	63,50±0,144
Värpprocent (%)	1	59,97±0,620	60,12±0,620	60,23±0,620	60,11±0,620
	2	97,57±0,620	97,50±0,620	97,34±0,620	97,44±0,620
	3	97,83±0,620	97,66±0,620	98,12±0,620	97,50±0,620
	4	98,25±0,620	97,73±0,620	98,24±0,620	98,05±0,620
	5	97,68±0,620	97,09±0,620	97,62±0,620	98,15±0,620

Bilaga 4

Värden för ammoniakkoncentration (ppm) mätt med Kitagawa-pump för respektive mättillfälle och foderbehandling samt värden från gödselanalyser på totalkväve, ammonium-kväve, andel ammonium-kväve av totalkväve och organiskt kväve för respektive mättillfälle och foderbehandling.

Medelvärde ± standard error.

	Mättillfälle	Kontroll	Låg RP	Hög Fiber	RP Fiber
Kitagawa-pump	1	50,25±5,509	40,13±5,509	42,25±5,509	47,38±5,509
	2	20,00±5,509	15,38±5,509	19,50±5,509	22,88±5,509
	3	10,75±5,509	11,88±5,509	5,25±5,509	8,00±5,509
	4	20,00±5,509	14,25±5,509	27,50±5,509	26,00±5,509
Träckprov					
Totalkväve (g/kg ts)	1	40,44±1,463	37,12±1,463	35,71±1,463	34,77±1,463
	2	45,91±1,712	41,63±1,463	41,70±1,712	35,75±1,463
Ammonium-kväve (g/kg ts)	1	7,24±1,089	6,61±1,089	8,04±1,089	6,30±1,089
	2	10,71±1,279	6,71±1,089	12,58±1,279	9,10±1,089
Organiskt kväve (g/kg ts)	1	33,20±1,837	30,50±1,837	27,67±1,837	28,47±1,837
	2	35,64±2,131	34,92±1,837	28,77±2,131	26,66±1,837
Andel Ammonium- kväve av totalkväve (%)	1	18,01±2,823	17,94±2,823	22,52±2,823	18,16±2,823
	2	23,40±3,330	16,25±2,823	30,34±3,330	25,67±2,823

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.