



## **Þróun á sameindaerfðafræðilegri aðferð til foreldragreininga í íslensku sauðfé**

---

**Sæmundur Sveinsson**

**Eyþór Einarsson**

**Davíð Gíslason**

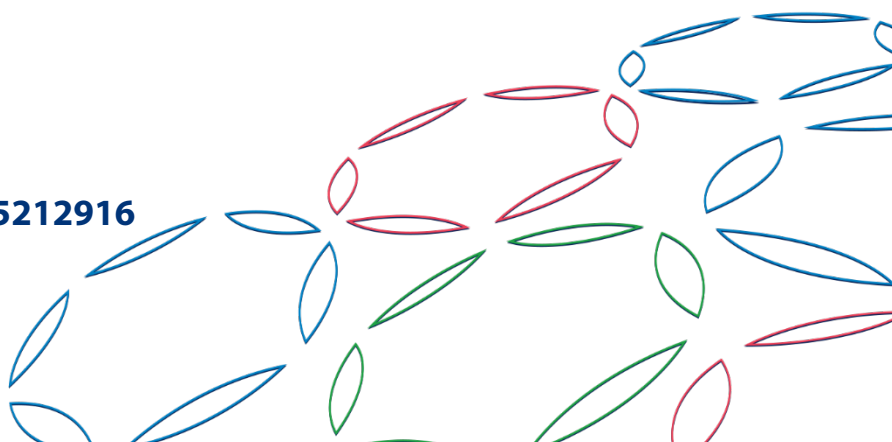
---

**Skýrsla Matis 10-21**

**Ágúst 2021**

**ISSN 1670-7192**

**DOI 10.5281/zenodo.5212916**





### Report summary

<i>Titill / Title</i>	<b>Þróun á sameindaerfðafræðilegri aðferð til foreldragreininga í íslensku sauðfé</b>		
<i>Höfundar / Authors</i>	Sæmundur Sveinsson <sup>1</sup> , Eyþór Einarsson <sup>2</sup> og Davíð Gíslason <sup>1</sup>		
<i>Skýrsla / Report no.</i>	10-21	<i>Útgáfudagur / Date:</i>	Ágúst 2021
<i>Verknr. / Project no.</i>	62619		
<i>Styrktaraðili:</i>	Fagráð í sauðfjárrækt		
<i>Ágríp á íslensku:</i>	<p>Óstaðfest faðerni lamba háir ýmsum framförum í sauðfjárrækt hér á landi. Helst má nefna rannsóknir tengdum arfgengum sjúkdómum, þar sem staðfest fað- og móðerni einstaklinga er forsenda fyrir því að hægt sé að rekja ætterni sjúkdómsins. Nútíma foreldragreiningar í búfé byggja á greiningu breytilegra erfðamarka og tölfræðilegum samanburði foreldra og afkvæma. Markmið þessa verkefnis var að þróa tól til foreldragreininga í íslensku sauðfé með sameindaerfðafræðilegum aðferðum. Það er mikilvægt fyrir ræktunarstarf í sauðfé að eiga kost á því að geta staðfest ætterni gripa. Þetta getur verið mjög nytsamlegt, sérstaklega þegar koma fram erfðagallar í afkvæmum sæðingastöðvahrúta. Þá er grundvallaratriði að gripurinn sé rétt ættfærður. Í þessari rannsókn voru 17 alþjóðlega viðurkennd (ISAG) erfðamörk prófuð til að foreldragreina í íslenska sauðfjástofninum. Gagnasafnið byggir á sýnum úr 514 kind. Niðurstöður verkefnisins sýna að ISAG erfðamörkin virka vel innan íslenska fjárstofnsins og undirstofna hans. Þetta verkefni hefur því bætt nýju tóli í verkfærakistu sauðfjárræktenda og ráðanauta.</p>		
<i>Lykilorð á íslensku:</i>	<i>Foreldragreiningar, íslenski sauðfjár stofninn, ISAG erfðamörk.</i>		
<i>Summary in English</i>	<p>Unconfirmed parentage of lambs can cause problems for sheep breeding in Iceland. This is especially the case in studies of heritable disorders that occasionally pop up in the Icelandic sheep population. Modern techniques for parentage verification are based on screening of genetic markers. Variable markers are used to generate genetic profiles of parents and those used in statistical analysis to identify and confirm paternity of offspring. The goal of this project was to develop a set of microsatellite (SSR) markers, recommended by ISAG (International Society for Animal Genetics), suitable for the Icelandic sheep population. Icelandic sheep have undergone various genetic bottlenecks in its history and therefore the main research question was if these markers are suitable for the Icelandic sheep breed. A total of 17 SSR markers were tested in this study. In total 514 individuals were screened using the 17 SSR markers. These markers were highly informative for parentage analysis in the Icelandic sheep breed. The output of this project is therefore a new tool for Icelandic sheep farmers and breeders, which will undoubtedly be valuable for future breeding projects of this important genetic resource.</p>		
<i>English keywords</i>	<i>Parentage analysis, Icelandic sheep breed, ISAG genetic markers.</i>		

## Efnisyfirlit

1. Inngangur.....	4
2. Efniviður og aðferðir .....	5
2.1 Líffræðilegur efniviður .....	5
2.2 Vísar og greining tafsraða .....	5
2.3 Lýsing á gögnunum, fjöldi erfðamarka og fjöldi samsæta, fjöldi einstaklinga .....	6
2.4 Foreldragreiningar með Cervus .....	7
3. Niðurstöður .....	8
3.1 Samsætutíðnigreining og erfðafjölbreytileiki .....	8
3.2 Hermun foreldagreiningar .....	11
3.3 Foreldragreining .....	12
4. Umræður .....	13
5. Heimildir .....	14
6. Þakkarorð.....	15
7. Viðauki 1 – Ýtarlegar niðurstöður foreldragreiningar.....	16

# 1. Inngangur

Óstaðfest faðerni lamba getur háð ýmsum framförum í sauðfjárrækt hér á landi. Helst má nefna rannsóknir tengdum arfgengum sjúkdómum, þar sem rétt foreldragreininga er forsenda til að hægt sé að rekja ætterni sjúkdómsins. Nokkrir arfgengir erfðagallar valda reglulega tjóni hjá íslenskum sauðfjárbændum. Dæmi um slíkan erfðagalla er bógkreppa, sem veldur vansköpun í þroskun útlíma á lömbum. Bógkreppa er að öllum líkindum víkjandi erfðagalli í stöku, óþekktu geni. Talið er sennilegt að gallinn hafi borist með fjárskiptafé á Suðurland á síðustu öld og dreift út frá tveimur sæðingahrútum (Sigurður Steinþórsson, 1995). Víkjandi erfðagallar eru erfiðir viðureignar í búfjárrækt, þar sem arfberar bera engin sjáanleg merki um þann sjúkdóm sem þeir bera til helmings afkvæma sinna. Til að hægt sé að finna erfðafræðilega orsök bógkreppu, sem og annarra erfðagalla, er lykilatriði að geta staðfest faðerni og móðerni þeirra einstaklinga sem þjást af sjúkdóminum sem gallinn veldur.

Nútíma foreldragreiningar í búfé byggja á greiningu erfðaefnis, þar sem samsetning erfðamarka í erfðamengi foreldra og afkvæma er borin saman. Flestar aðferðir byggja á arfgerðagreiningum í svokölluðum tafsröðum (e. microsattelite). Tafsraðir eru breytileg svæði sem eru algeng í erfðamengi flestra lífvera. Kostir tafsraða í foreldragreiningum er að þær eru einfaldar í greiningum og stökkbreytitíðni er há í samanburði við önnur erfðamörk. Há stökkbreytitíðni veldur því að náskildir einstaklingar geta haft ólík samsetningu tafsraða. Þetta er mikilvægt þegar foreldragreiningar eru framkvæmdir í búfjárstofnun, þar sem margir þeirra eru erfðafræðilega einsleitir.

Matís hefur um árabíl framkvæmt foreldragreiningar í hrossum og nautgripum í þjónustu við ræktendur, bændur og ráðanauta. Fram að þessu hefur ekki verið þróað foreldragreininga próf fyrir íslenskt sauðfé. Fjöldi erfðamarka í sauðfé hafa verið þróað í þessum tilgangi erlendis (Rosa et al. 2013; Al-Atiyat 2015; Yilmaz 2016) en engin þeirra hafa áður verið prófuð í íslensku fé. Alþjóðleg samtök dýraerfðafræðinga (ISAG) hafa gefið út ráðleggingar varðandi hentug erfðamörk til foreldragreininga (sjá Stasio 2005; FAO 2011). Óvíst er hvaða erfðamörk henta best í íslensku fé, þar sem stofninn hefur lengi verið einangraður frá öðrum fjárstofnum. Enn fremur hefur íslenski fjárstofninn gengið í gegnum ýmsar hremmingar um aldirnar. Á síðustu öld hafa stórar hjarðir verið skornar niður til að sporna við útbreiðslu margvíslegra sjúkdóma. Slíkar aðgerðir hafa að öllum líkindum minnkað erfðafræðilegan fjölbreytileika innan stofnsins.

Markmið þessa verkefnis var að prófa alþjóðlega viðurkennd erfðamörk í þeim tilgangi að þróa tól til foreldragreininga í íslensku sauðfé. Það er mikilvægt fyrir ræktunarstarf í sauðfjárrækt að eiga kost á því að geta staðfest ætterni gripa, bæði m.t.t. þess að treysta ætternisgögn vegna kynbótastarfsins en ekki síður vegna rannsókna á erfðagöllum.

## 2. Efniviður og aðferðir

### 2.1 Líffræðilegur efniviður

Gagnasafnið í þessari rannsókn byggðu á 514 kind. Þar af voru 378 kindur þar sem nýttar voru til eiginlegra foreldragreininga (sjá töflu 1). Af þessum 378 einstaklingum voru 177 afkvæmi, 84 feður og 117 mæður. Til viðbótar voru 136 forystufjár erfðagreind í þessari rannsókn. Markmiðið með þeim greiningum var að kanna erfðabreytileika innan stofnsins svo hægt væri að leggja mat á hversu vel foreldragreiningar virki í íslensku forystufé. Miðað var að því að safna erfðafræðilega fjölbreyttum hópi einstaklinga. Greind voru sýni af hyrndu- og kollóttufé ásamt stórum hópi af forystufé. Enn fremur voru sæðingahrútar og afkvæmi þeirra greind í þessari rannsókn. Í töflu 1 er að finna yfirlit yfir þau sýni sem greind voru í þessari rannsókn. Ætternisgögn voru sótt úr fjárvís og þau notuð í útreikninga á faðerni og móðerni afkvæma.

Tafla 1. Fjöldi einstaklinga sem nýttir voru til foreldragreininga í þessari rannsókn, skipt upp eftir sauðfjárkyni

	Afkvæmi	Feður	Mæður
Feldfé	4	2	3
Ferhyrnd	1	1	1
Forystufé	13	7	13
Hyrnt	118	48	73
Kollótt	41	26	27
<b>Samtals:</b>	<b>177</b>	<b>84</b>	<b>117</b>

### 2.2 Vísar og greining tafsaða

Notast var við ráðleggingar alþjóðlegu samtaka dýraerfðafræðinga (ISAG) varðandi val á erfðamörkum til foreldragreininga í íslensku sauðfé. Þeim erfðamörkum sem beitt var í þessu verkefni eru svokallaðar tafsaðir (e. microsattelite). Þau hafa þann kost að vera mjög breytileg. Það þýðir að hvert erfðamark getur haft töluverðan fjölda útgáfa, sem nefnast samsætur. Greining á tafsröðum fór þannig fram að lífsýnum er safnað af þeim skepnum sem á að greina, t.d. með nasastroku. Erfðaefni var einangrað úr lífsýninu, breytileg tafsaðasvæði eru mögnuð upp með kjarnsýrumögnun (PCR) og þau greind með rafdrætti.

Í þessu verkefni voru 17 tafsaða erfðamörk prófuð í 621 kind. Sýnum var safnað frá einstaka bæjum en einnig voru sýni úr fyrri rannsóknaverkefnum notuð. Erfðamörkin eru mögnuð upp með PCR hvarfi og á bakvið hvert erfðamark eru tveir sértækir vísar (e. primers). Upplýsingar um vísanna, sem notaðir voru í þessari rannsókn er að finna í töflu 2 hér fyrir neðan.

Tafla 2. Yfirlit yfir vísa sem notaðir voru til að magna upp erfðamörk sem notuð voru til foreldragreininga í íslensku sauðfé. Hver tafsröð er mögnuð upp með tveimur vísum, F og R.

Erfðamark	Vísir F (Forward)	Vísir R (Reverse)
HSC <sup>1</sup>	CTGCCAATGCAGAGACACAAGA	GTTTCTTGTCTGTCTCCTGTCTTGTTCATC
Inra23 <sup>1</sup>	GAGTAGAGCTACAAGATAAACTTC	GTTTCTTTAACTACAGGGTGTAGATGAACTC
OarAE129 <sup>1</sup>	AATCCAGTGTGTGAAAGACTAATCCAG	GTAGATCAAGATATAGAATATTTTTCAACACC
OarCP49 <sup>2</sup>	CAGACACGGCTTAGCAACTAAACGC	GTGGGGATGAATATTCCTTCATAAGG
OarFCB20 <sup>1</sup>	GGAAAACCCCATATATACCTATAC	GTTTCTTAAATGTGTTTAAAGATTCCATACATGTG
MAF065 <sup>1</sup>	AAAGGCCAGAGTATGCAATTAGGAG	GTTTCTTCCACTCCTCCTGAGAATATAACATG
MCM042 <sup>1</sup>	CATCTTTCAAAGAAGACTCCGAAAAGTG	GTTTCTTCTTGGAAATCCTTCTTAACCTTTCCGG
OarFCB11 <sup>2</sup>	GCAAGCAGGTTCTTTACCACTAGCACC	GTTTCTTGGCCTGAACTCACAAGTTGATATATCTATCAC
CSRD247 <sup>1</sup>	GGACTTGCCAGAAGCTCTGCAAT	GTTTCTTCACTGTGGTTTGTATTAGTCAGG
INRA005 <sup>1</sup>	TTCAGGCATACCCTACACCACATG	GTTTCTTAAATATTAGCCAACTGAAAAGCTGGG
Inra63 <sup>1</sup>	ATTTGCACAAGCTAAATCTAACC	AAACCACAGAAATGCTTGGAAAG
ETH152-D5S2 <sup>1</sup>	TACTCGTAGGGCAGGCTGCCTG	GTTTCTTGAGACCTCAGGGTTGGTGATCAG
INRA006 <sup>1</sup>	AGGAATATCTGTATCAACCGCAGTC	GTTTCTTCTGAGCTGGGGTGGGAGCTATAAATA
INRA172 <sup>1</sup>	CCAGGGCAGTAAATGCATAACTG	GTTTCTTGGCCTTGCTAGCCTCTGCAAAC
Maf214 <sup>1</sup>	GGGTGATCTTAGGGAGTTTTGGAGG	AATGCAGGAGATCTGAGGCAGGGACG
MCM527 <sup>1</sup>	GTCCATTGCCTCAAATCAATTC	GTTTCTTAAACCACTTGACTACTCCCAA
OarFCB304 <sup>1</sup>	CCCTAGGAGCTTTCAATAAAGAATCGG	CGCTGCTGTCAACTGGGTCAGGG

<sup>1</sup>FAO (2011) Molecular genetic characterization of animal genetic resources. FAO Animal Production and Health Guidelines. No. 9. Rome.

<sup>2</sup>Stasio LD (2005) Panels of markers for parentage verification tested at the 2001/02 ISAG Comparison test. *ISAG*

Erfðamörkin voru mögnuð upp með hefðbundnum PCR hvarfi á rannsóknastofu Matís. PCR-afurðir voru keyrðar á ABI-3730 raðgreini, sem staðsettur er á rannsóknastofu Matís, til arfgerðagreininga. Gögnin voru þá greind í GeneMapper til að ákvarða samsætugerð einstaklinga. Eftir arfgerðagreiningu voru gögnin hreinsuð og nýtt í tölfræðilegar greiningar.

### 2.3 Lýsing á gögnunum, fjöldi erfðamarka og fjöldi samsæta, fjöldi einstaklinga

Erfðagögnin voru fyrst skoðuð í forritinu MICROCHECKER (Van Oosterhout et al. 2004) til þess að athuga, finna og leiðrétta villur í tafsraðagögnum. Niðurstöður þessarar athugunar gaf til kynna fimm erfðamörk af sautján voru með of hátt hlutfall af arfhreinum (e. *homozygote*) einstaklingum. Frekari athugun á þessum erfðamörkum sýndi að stærð samsæta (e. *allele*) var rétt metin, og að hikst (e. *stuttering*) var ekki vandamál og ekki var um að ræða að stórar samsætur kæmu ekki fram. Það er ekki óeðlilegt í ræktuðum innæxluðum stofni búfjár komi fram hátt hlutfall arfhreinna einstaklinga, reyndar er merkilegt að ekki voru fleiri erfðamörk með of hátt hlutfall arfhreinna einstaklinga. Samkvæmt þessu voru erfðagögnin metin góð og gild.

## 2.4 Foreldragreiningar með Cervus

Við foreldragreininguna var notast við forritið Cervus<sup>1</sup> (©Tristan Marshall 1998-2012). Í Cervus er hægt að greina erfðagögn og gert er ráð fyrir að erfðamörk séu í tengslajafnvægi (e. *linkage equilibrium*). Niðurstöður fyrir tengslajafnvægi sem var reiknað í forritinu GENEPOP (Rousset 2008) fyrir öll pör af erfðamörkum leiddi í ljós marktækt tengslaójafnvægi í 32 prófum af 136 eða í 23,5% tilfella eftir leiðréttingu á P-gild (Benjamin and Yekutieli 2001) vegna fjölda prófa. Ljós er af þessu að tengslaójafnvægið er ekki aðeins vegna eins par af erfðamörkum og yfir höfuð eru tengslin fremur lág (Mynd 1). Það er ljóst að í ræktuðum stofni mun alltaf myndast tengslaójafnvægi vegna vals, en þar sem það er lágt teljum við ekkert til fyrirstöðu að nota erfðagögnin í Cervus og teljum að þetta hafi lítil sem engin áhrif á foreldragreininguna.

Foreldragreining í Cervus byggist á þremur greiningum:

1. Samsætutíðnigreining (e. *Allele frequency analysis*) þar sem foreldragreining byggist á líkum er nauðsynlegt að reikna út tíðni samsæta fyrir hvert erfðamark en þessi greining reiknar einnig fleiri þætti fyrir hver erfðamark. Hér er helst að nefna væntanlega og reiknaða arfblandni, fjölbreytileiki upplýsinga (e. *PIC, polymorphic information content*), meðaltals útilokunar líkur og Hardy Weinberg próf.
2. Hermun á foreldragreiningu þar sem megin tilgangurinn er að meta hversu sterk erfðamörkin eru fyrir greiningu að gefinni raunverulegri samsætu tíðni og til að meta markgildi fyrir log-likelihood útreikninga svo öryggi í foreldragreiningu geti verið metin tölfræðilega.
3. Foreldragreining, þar sem borin eru saman erfðafræðilega margir væntanlegir foreldrar við afkvæmi. Fyrir hvert afkvæmi eru þeir foreldrar fundnir sem hafa mestar líkur á að vera foreldrar afkvæmis miðað við fyrir fram metið tölfræðilegt öryggi greiningar annars eru engir foreldrar fundnir.

---

<sup>1</sup> [http://www.fieldgenetics.com/pages/aboutCervus\\_Overview.jsp](http://www.fieldgenetics.com/pages/aboutCervus_Overview.jsp)

### 3. Niðurstöður

#### 3.1 Samsætutiðnigreining og erfðafjölbreytileiki

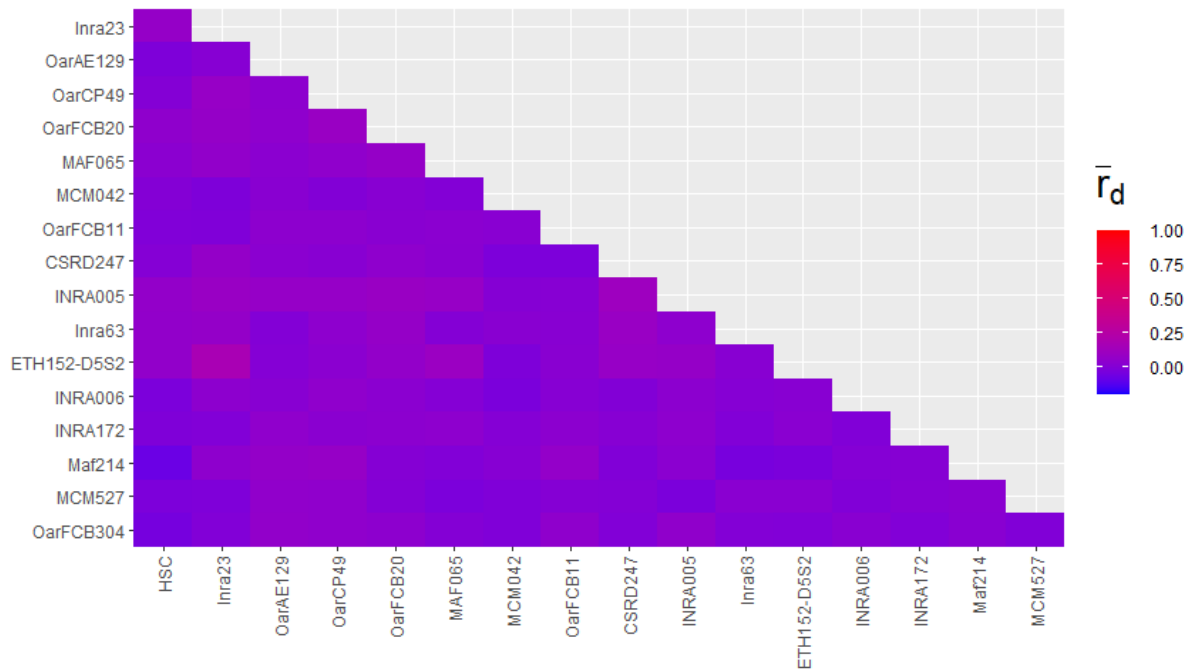
Samsætugreiningin sýnir að flest erfðamörkin eru með háa arfblendni í hyrndu og kollóttu fé, nema Maf214 og CSR247 sömu erfðamörk eru einnig lægst í PIC (Tafla 3). Þegar kemur að PIC gildi er best að það sé sem hæst en oftast er miðað við að PIC gildi þurfi að vera hærra en 0,5. Hins vegar þegar prófað var að taka erfðamarkið Maf214 úr gögnunum vegna lágs PIC gildis, hafði það neikvæð áhrif á niðurstöður foreldragreininga. Það er væntanlega vegna þess að þá hefur erfðamörkum fækkað sem notuð eru við foreldragreininguna. Því eru öll erfðamörkin notuð til frekari greiningar á gögnunum.

Tafla 3. Samantekt fyrir samsætutiðnigreiningu fyrir íslenskt hyrnt og kollótt fé hvert erfðamark (Locus). Birt eru k: fjöldi samsæta á locus, N: fjöldi einstaklinga greindur, HObs: reiknuð arfblendni, HExp: ætlað arfgengi, PIC: fjölbreytileiki upplýsinga, NE-1P: meðal ekki útilokunar líkur (non exclusion probability) fyrir einn mögulegan foreldra, NE-2P: meðal ekki útilokunar líkur fyrir eitt foreldri þegar arfgerð þekkt foreldra af gagnstæðu kyni er þekkt, NE-PP: meðal ekki útilokunar líkur fyrir mögulegt foreldra par, NE-I: meðal ekki útilokunar líkur fyrir að finna tvo óskylda einstaklinga, NE-SI: meðal ekki útilokunar líkur fyrir tvö systkin, HW: niðurstöður Hardy Weinberg prófs (NS ekki marktækt, \* marktækt, ND ekki framkvæmt, F(Null): áætluð tíðni null samsæta. Fyrir neðan töfluna er meðaltöl yfir öll erfðamörk.

Locus	k	N	HObs	HExp	PIC	NE-1P	NE-2P	NE-PP	NE-I	NE-SI	HW	F(Null)
CSR247	7	378	0.418	0.431	0.385	0.904	0.777	0.640	0.370	0.627	NS	0.0187
ETH152-D5S2	7	353	0.609	0.664	0.595	0.768	0.615	0.453	0.181	0.464	NS	0.0401
HSC	11	373	0.732	0.746	0.728	0.614	0.425	0.211	0.082	0.398	NS	0.0067
INRA005	13	374	0.834	0.877	0.863	0.403	0.251	0.096	0.028	0.319	NS	0.0232
INRA006	5	379	0.573	0.592	0.520	0.813	0.675	0.515	0.238	0.514	NS	0.0157
INRA172	12	373	0.748	0.765	0.727	0.627	0.451	0.265	0.093	0.391	NS	0.0104
Inra23	10	368	0.712	0.761	0.731	0.617	0.436	0.239	0.086	0.392	NS	0.0351
Inra63	7	376	0.537	0.619	0.552	0.791	0.643	0.474	0.212	0.494	NS	0.0685
MAF065	6	377	0.748	0.784	0.753	0.597	0.416	0.230	0.077	0.378	NS	0.0218
MCM042	6	383	0.668	0.698	0.651	0.719	0.544	0.361	0.138	0.436	NS	0.0196
MCM527	7	379	0.583	0.612	0.546	0.796	0.648	0.480	0.216	0.498	NS	0.0193
Maf214	2	379	0.111	0.114	0.108	0.994	0.946	0.901	0.791	0.891	ND	0.0142
OarAE129	4	378	0.566	0.594	0.530	0.816	0.668	0.507	0.228	0.510	NS	0.0273
OarCP49	13	377	0.684	0.745	0.712	0.636	0.457	0.259	0.098	0.402	*	0.0444
OarFCB11	7	379	0.728	0.732	0.695	0.668	0.487	0.295	0.108	0.411	NS	-0.0006
OarFCB20	12	378	0.854	0.856	0.839	0.452	0.290	0.124	0.037	0.332	NS	0.0010
OarFCB304	8	377	0.557	0.564	0.526	0.821	0.654	0.468	0.228	0.525	NS	0.0093

Number of individuals:	383
Number of loci:	17
Mean number of alleles per locus:	8.059
Mean proportion of loci typed:	0.9800
Mean expected heterozygosity:	0.6561
Mean polymorphic information content (PIC):	0.6153
Combined non-exclusion probability (first parent):	0.00186765
Combined non-exclusion probability (second parent):	0.00001700
Combined non-exclusion probability (parent pair):	7.363E-0009
Combined non-exclusion probability (identity):	2.364E-0015
Combined non-exclusion probability (sib identity):	0.00000155





Mynd 1. Tengslajafnvægi fyrir öll pör af erfðamörkum í hyrndu og kollóttu fé.

Tafla 4 sýnir niðurstöður á samsætgreiningu í forystufé. Samanburður á niðurstöðum í töflu 3 og 4 sýnir að íslenska forystuféð er erfðafræðilega ólíkt kollóttu og hyrndu fé. Það kemur ekki á óvart, þar sem þessum stofnum hefur lengið verið haldið aðskildu í ræktun. Enn fremur er forystuféð mjög lítil stofn, áætlað er um stofninn samanstandi af u.þ.b. 1.400 einstaklingum. Þrátt fyrir mjög litla stofnstærð er þónokkur erfðafjölbreytileiki fyrir hendi í forystufénu. Að meðaltali eru færri samsætur í hverju erfðamarki, 5,3 í forystufé en 8,1 í hyrnda og kollótta fénu. Tvö erfðamörk eru álíka fjölbreytt í forystufé annars vegar og kollótta og hyrnda fénu hins vegar en þau eru OarAE129 og Maf214. Þó benda okkar útreikningar til að nægur erfðafjölbreytileiki sé fyrir hendi í forystufénu til þess að foreldragreiningar muni virka í íslenska forystufénu.

Tafla 4. Samantekt samsættíðnigreiningar í íslensku forystufé fyrir hvert erfðamark (Locus). Birt eru k: fjöldi samsæta á locus, N: fjöldi einstaklinga greindur, HObs: reiknuð arfblendni, HEbs: ætlað arfgengi, PIC: fjölbreytileiki upplýsinga, NE-1P: meðal ekki útilokunar líkur (non exclusion probability) fyrir einn mögulegan foreldra, NE-2P: meðal ekki útilokunar líkur fyrir eitt foreldri þegar arfgerð þekkt foreldra af gagnstæðu kyni er þekkt, NE-PP: meðal ekki útilokunar líkur fyrir mögulegt foreldra par, NE-I: meðal ekki útilokunar líkur fyrir að finna tvo óskylda einstaklinga, NE-SI: meðal ekki útilokunar líkur fyrir tvö systkin, HW: niðurstöður Hardy Weinberg prófs (NS ekki marktækt, \* marktækt, ND ekki framkvæmt, F(Null): áætluð tíðni null samsæta. Fyrir neðan töfluna er meðaltöl yfir öll erfðamörk.

Locus	k	N	HObs	HExp	PIC	NE-1P	NE-2P	NE-PP	NE-I	NE-SI	HW	F(Null)
CSRD247	4	136	0.574	0.593	0.504	0.824	0.700	0.559	0.254	0.518	NS	0.0203
ETH152-D5S2	3	113	0.398	0.478	0.420	0.887	0.757	0.620	0.331	0.595	NS	0.0917
HSC	6	129	0.512	0.504	0.471	0.861	0.699	0.521	0.279	0.569	NS	-0.0052
INRA005	12	122	0.410	0.802	0.774	0.557	0.381	0.193	0.065	0.367	***	0.3245
INRA006	3	136	0.419	0.444	0.348	0.902	0.824	0.731	0.405	0.630	NS	0.0265
INRA172	7	135	0.807	0.749	0.711	0.646	0.467	0.276	0.100	0.402	NS	-0.0498
Inra23	7	98	0.786	0.738	0.696	0.667	0.487	0.298	0.109	0.410	NS	-0.0301
Inra63	4	136	0.463	0.447	0.402	0.899	0.765	0.622	0.351	0.615	NS	-0.0101
MAF065	5	136	0.676	0.676	0.625	0.742	0.571	0.390	0.155	0.452	NS	0.0063
MCM042	4	136	0.368	0.386	0.342	0.925	0.809	0.687	0.421	0.663	NS	0.0340
MCM527	5	134	0.440	0.650	0.592	0.772	0.608	0.435	0.180	0.471	***	0.1909
Maf214	2	136	0.007	0.007	0.007	1.000	0.996	0.993	0.985	0.993	ND	-0.0001
OarAE129	4	123	0.154	0.161	0.155	0.987	0.917	0.845	0.710	0.847	ND	0.0078
OarCP49	7	132	0.273	0.366	0.326	0.932	0.819	0.700	0.442	0.678	***	0.1762
OarFCB11	4	136	0.544	0.538	0.483	0.853	0.705	0.549	0.268	0.549	NS	-0.0069
OarFCB20	8	126	0.786	0.779	0.739	0.620	0.442	0.261	0.087	0.384	NS	-0.0069
OarFCB304	5	106	0.528	0.504	0.466	0.864	0.706	0.535	0.284	0.570	NS	-0.0426

Number of individuals:	136
Number of loci:	17
Mean number of alleles per locus:	5.294
Mean proportion of loci typed:	0.9386
Mean expected heterozygosity:	0.5190
Mean polymorphic information content (PIC):	0.4743
Combined non-exclusion probability (first parent):	0.02729429
Combined non-exclusion probability (second parent):	0.00093673
Combined non-exclusion probability (parent pair):	0.00000682
Combined non-exclusion probability (identity):	5.688E-0011
Combined non-exclusion probability (sib identity):	0.00003975

### 3.2 Hermun foreldagreiningar

Eins og áður hefur verið nefnt er hermun foreldragreiningar gerð til þess að áætla hversu sterk foreldragreiningin er miðað við notuð erfðamörk og samsætutíðni þeirra. Við þessa útreikninga er notast við tvö stig af öryggismörkum, ströng öryggismörk 95% og léttari öryggismörk 85%, oftast er gengið út frá ströngum öryggismörkum til að auka áreiðanleika niðurstaðna. Niðurstöður þessarar greiningar gefa til kynna að það sett erfðamarka sem hér eru notuð muni nýtast vel til nákvæmrar greiningar á foreldrum einstaklinga (Tafla 2 og 3). Tíðni fyrir að réttir foreldrar afkvæmis eru fundnir er 99% bæði fyrir mæður og feður en 100% fyrir foreldra par. Nánari niðurstöður þessarar greiningar má sjá í Töflu 5.

Tafla 5. Yfirlit fyrir hermun foreldragreiningar í hyrndu og kollóttu fé. Sýndur er fjöldi rétt valinna foreldra fyrir 10.000 afkvæmi. Fyrst fyrir eingöngu mæður, þá fyrir eingöngu feður og að lokum fyrir foreldra par.

#### Mother alone:

Level	Confidence (%)	Critical Delta	Assignments	Assignment Rate
Strict	95.00	0.00	9930	99%
Relaxed	80.00	0.00	9930	99%
Unassigned			70	1%
Total			10000	100%

#### Father alone:

Level	Confidence (%)	Critical Delta	Assignments	Assignment Rate
Strict	95.00	0.00	9931	99%
Relaxed	80.00	0.00	9931	99%
Unassigned			69	1%
Total			10000	100%

#### Parent pair (sexes known):

Level	Confidence (%)	Critical Delta	Assignments	Assignment Rate
Strict	95.00	0.00	9987	100%
Relaxed	80.00	0.00	9987	100%
Unassigned			13	0%
Total			10000	100%

Tafla 6. Hermun foreldragreiningar í meiri upplausn. Sýndur er fjöldi rétt valinna foreldra fyrir 10.000 afkvæmi í hyrndu og kollóttu fé. Fyrst fyrir eingöngu mæður, þá fyrir eingöngu feður og að lokum fyrir foreldra par.

**Mother alone:**

Identity of most likely candidate	Confidence level		Most likely
	Strict	Relaxed	
True mother	9927 (100%)	9927 (100%)	9927 (100%)
Non-mother (true mother sampled)	3 ( 0%)	3 ( 0%)	3 ( 0%)
Non-mother (true mother unsampled)	0 ( 0%)	0 ( 0%)	0 ( 0%)
Total assignments	9930	9930	9930
No assignment made	70	70	70
Total tests	10000	10000	10000

**Father alone:**

Identity of most likely candidate	Confidence level		Most likely
	Strict	Relaxed	
True father	9928 (100%)	9928 (100%)	9928 (100%)
Non-father (true father sampled)	3 ( 0%)	3 ( 0%)	3 ( 0%)
Non-father (true father unsampled)	0 ( 0%)	0 ( 0%)	0 ( 0%)
Total assignments	9931	9931	9931
No assignment made	69	69	69
Total tests	10000	10000	10000

**Parent pair (sexes known):**

Identity of most likely candidate	Confidence level		Most likely
	Strict	Relaxed	
True parent pair	9984 (100%)	9984 (100%)	9984 (100%)
Non-parent pair (true parent pair sampled)	3 ( 0%)	3 ( 0%)	3 ( 0%)
Non-parent pair (true mother unsampled)	0 ( 0%)	0 ( 0%)	0 ( 0%)
Non-parent pair (true father unsampled)	0 ( 0%)	0 ( 0%)	0 ( 0%)
Non-parent pair (neither true parent sampled)	0 ( 0%)	0 ( 0%)	0 ( 0%)
Total assignments	9987	9987	9987
No assignment made	13	13	13
Total tests	10000	10000	10000

### 3.3 Foreldragreining

Það er ljóst af hermun foreldragreiningar að það sett af erfðamörkum sem við notum í þessa greiningu er sterkt og er mjög líkleg til að finna rétta foreldra afkvæma með mikilli vissu. Gengið er út frá því að það þurfi minnst 14 erfðamörk til þess að foreldragreining sé gerð. Þá var í þessari greiningu gert ráð fyrir því að hlutfall erfðamarka sem voru greind séu 0,98, að villutíðni í erfðagreiningu sé 0,01 og að villutíðni í líkindareikningum (e. *error rate of likelihood calculations*) sé 0,01. Niðurstöður foreldragreiningar fyrir hvert afkvæmi er í töflu V1.1.

## 4. Umræður

Niðurstöður í þessu verkefni sýna að ættfærslur langflestra einstaklingar sem voru skoðaðir voru réttar. Ekki er því ástæða til að ætla annað en ættfærslur í Fjávís séu yfirleitt rétt skráðar þó lítið sé hægt að fullyrða um ættskráningar almennt út frá þessu verkefni þar sem hér voru notuð sýni frá völdum búum. Að hafa kost á því að framkvæma foreldragreiningar gefur möguleika á því að treysta ætternisgögnin enn frekar t.d. með því að staðfesta ætterni hrúta sem valdir eru á sæðingastöðvar. Þá kemur stundum upp sú staða hjá bændum að óvissa er um ætterni gripa og þá er mikill akkur í því að geta nýtt foreldragreiningar í slíkum tilfellum. Þá er mjög mikilvægt þegar barist er við erfðagalla eða arfgenga sjúkdóma að hægt sé að staðfesta ætterni.

Víkjandi erfðagallar eru sérstaklega erfiðir viðureignar í ræktun og kynbótum. Þeir geta leynst víða og verða ekki sýnilegir nema í einstaklingum sem eru arfhreinir um bæði eintök af gallaða geninu. Eina raunhæfa leiðin til að losna við gölluð víkjandi gen úr íslenska fjárstofninum er að finna erfðabreytileikann sem veldur gallanum og þróa greiningarpróf til að hægt sé að leita af honum meðal sæðingahrúta og í hjörðum einstakra fjárræktenda.

Íslenski fjárstofninn hefur verið að mestu erfðafræðilega einangraður frá landnámi. Enn fremur hefur hann gengið í gengum margvíslegar hremmingar í gegnum aldirnar, svo sem fjárfelli vegna eldgosa og stórfellda niðurskurði vegna smitsjúkdóma. Þessar hremmingar hafa mikiláhrif á erfðafræðilega stofnstærð íslenska fjárstofnsins. Niðursveiflur í stofnstærð búfjárstofna valda svokölluð erfðafræðilegum flöskuhálsum, sem minnka erfðabreytileika innan stofna. Því var ekki víst, þegar farið var af stað með þetta verkefni, hversu vel alþjóðleg erfðamörk myndu virka í íslenska fjárstofninum. Það er því mikið ánægjuefni hversu vel þau 17 erfðamörk sem prófuð voru í þessu verkefni virkuðu í foreldragreiningum á íslensku sauðfé. Nægur erfðabreytileiki fannst til að geta staðfest faðerni og móðerni lang flestra lamba sem greind voru í þessu verkefni.

Íslenski fjárstofninn er einstök erfðaaauðlind sem mikilvægt er að varðveita og nýta til innlendrar matvælaframleiðslu og verðmætasköpunar. Verkefni á borð við þetta, sem auka þekkingu á erfðafræði og skapa ný erfðafræðileg tól sem nýtast við kynbætur og stuðla að auknum erfðaframförum innan stofnsins, eru gríðarlega þýðingamikil fyrir íslenska fjárræktendur. Hnignun á erfðafjölbreytileiki í landbúnaði er mikið áhyggjuefni. Stór hluti yrkja nytjaplanta og lítilla búfjárstofna sem nýtt voru í ræktun fyrir einungis 100 árum síðan eru nú horfin. Erfðabreytileiki er nauðsynlegur fyrir áframhaldandi erfðaframfarir í kynbótum. Þessi þróun varð til þess að varðveisla erfðaaauðlinda í landbúnaði er lykilþáttur í Heimsmarkmiði Sameinuðupjóðanna nr. 2, útrýmingu hungurs. Undirmerkið 2.5 kveður skýrt á um að varðveita skuli allar þær erfðaauðlindir sem nýttar eru til matvælaframleiðslu í heiminum í dag. Þetta afmarkaða verkefni styður með skýrum hætti við þetta markmið. Varðveisla íslenskra erfðaaauðlinda í landbúnaði er því í raun ekki lengur einkamál Íslendinga, heldur erum við í raun skuldbundin að varðveita þær um ókomna tíð fyrir framtíðar kynslóðir.

## 5. Heimildir

- Al-Atiyat RM (2015) The power of 28 microsatellite markers for parentage testing in sheep. *Electronic Journal of Biotechnology*. 18:116-121.
- Benjamini Y and Yekutieli D (2001) The control of the false discovery rate in multiple testing under dependency. *Ann. Stat.* 29:1165-1188.
- FAO (2011) Molecular genetic characterization of animal genetic resources. FAO Animal Production and Health Guidelines. No. 9. Rome.
- Rosa AJ, Sardina MT, Mastrangelo S, Tolone M, Portolano B (2013 ) Parentage verification of Valle del Belice dairy sheep using multiplex microsatellite panel. *Small Ruminant Research*.113:62-65.
- Rousset F (2008) GENEPOP'007: a complete re-implementation of the GENEPOP software for Windows and Linux. *Mol. Ecol. Res.* 8:103-106 <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2007.01931.x>
- Sigurður Steinþórsson (1995). *Erfðagalli í íslensku sauðfé*. BS-ritgerð, Búvísindadeild Bændaskólans á Hvanneyri. 30 s
- Stasio LD (2005) Panels of markers for parentage verification tested at the 2001/02 ISAG Comparison test. *ISAG*
- Van Oosterhout C, Hutchinson WF, Wills DP, Shipley P (2004) MICRO-CHECKER: software for identifying and correcting genotyping errors in microsatellite data. *Molecular Ecology Notes*. 4:535-568.
- Yilmaz O (2016) Power of different microsatellite panels for paternity analysis in sheep. *Animal Science Papers and Reports*. 34:155-164.

## 6. Þakkarorð

Skýrsluhöfundar vilja koma á framfæri þökkum til eftirfarandi aðila sem lögðu verkefninu lið á marvíslegan máta. Höfundar vilja þakka Ágústu Kolbrúnu Sigfúsdóttur og Steinunni Magnúsdóttur, starfsmönnum Matis, fyrir sitt vinnuframlag í verkefninu. Ágústa sá um einangrun erfðaefnis í verkefninu og Steinunn framkvæmdi erfðagreiningar og lestur arfgerða. Enn fremur er Daníel Hansen á Svalbarði í Þistilfirði þakkað fyrir afnot af erfðasýnum úr forystufé. Bændum á eftirfarandi búum er þakkað fyrir að leggja rannsókninni til sýni úr lifandi gripum: Árgerði, Skagafirði; Ásgarður, Dölum; Hestur, Borgarfirði; Heydalsá 1, Steingrímsfirði; Sólheimagerði, Skagafirði; Syðra-Skörðugil, Skagafirði; Þorgautsstaðir, Borgarfirði.

## 7. Viðauki 1 – Ýtarlegar niðurstöður foreldragreiningar.

Tafla V1.1. Niðurstöður foreldragreiningar. Í töflunni er hvert afkvæmi prófað fyrir tvær væntanlegar mæður og tvo væntanlega feður með mest líkur á að vera foreldrar og svo að síðustu er fundið þríeyki (afkvæmi, móðir, faðir, trio) með mestar líkur. Í töflunni kemur fram einkenni afkvæmis (offspring ID), fjöldi erfðamarka greind fyrir afkvæmi, væntanleg móðir, fjöldi erfðamarka greind fyrir væntanlega móður, fjöldi erfðamarka borin saman fyrir afkvæmi og væntanlega móður, fjöldi erfðamarka með misræmi milli pars (afkvæmis og væntanlegrar móður), LOD stig fyrir par, delta fyrir par, öryggi í greiningu pars (stjarna sýnir móður með hæstu líkur), þá koma sömu útreikningar á líkum fyrir afkvæmi og feður og loks fyrir þríeykið.

Offspring ID	Loci typed	Candidate mother ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Candidate father ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Trio loci compared	Trio loci mismatching	Trio LOD score	Trio Delta	Trio confidence
20001	16	20033	17	16	0	6.66E+00	3.46E+00	*	8014	17	16	0	1.01E+01	1.01E+01	*	16	0	2.17E+01	1.66E+01	*
20001	16	20162	17	16	2	-3.83E+00	0.00E+00		8014	17	16	0	1.01E+01	1.01E+01	*	16	3	5.07E+00	0.00E+00	
20002	17	20023	17	17	0	7.25E+00	7.25E+00	*	649	17	17	2	5.05E-01	5.05E-01	*	17	3	6.45E+00	4.67E+00	*
20002	17	20034	17	17	2	-2.32E-01	0.00E+00		649	17	17	2	5.05E-01	5.05E-01	*	17	4	1.79E+00	0.00E+00	
20003	17	20022	17	17	1	1.00E+00	0.00E+00		6532	17	17	0	1.53E+01	1.44E+01	*	17	4	7.11E+00	0.00E+00	
20003	17	20035	17	17	0	9.85E+00	8.84E+00	*	6532	17	17	0	1.53E+01	1.44E+01	*	17	0	2.94E+01	2.23E+01	*
20004	17	20030	17	17	0	1.22E+01	9.97E+00	*	5022	17	17	0	9.08E+00	6.09E+00	*	17	0	2.60E+01	1.93E+01	*
20004	17	20072	17	17	1	1.77E+00	0.00E+00		5022	17	17	0	9.08E+00	6.09E+00	*	17	3	6.69E+00	0.00E+00	
20005	17	20018	17	17	0	1.24E+01	9.65E+00	*	20328	17	17	1	1.67E+00	0.00E+00		17	3	8.88E+00	0.00E+00	
20005	17	20018	17	17	0	1.24E+01	9.65E+00	*	268	17	17	1	2.45E+00	7.78E-01	*	17	2	1.50E+01	6.17E+00	*
20006	17	20032	17	17	0	6.42E+00	3.24E-01	*	5022	17	17	0	8.23E+00	3.62E+00	*	17	0	1.66E+01	0.00E+00	
20006	17	20038	17	17	0	6.09E+00	0.00E+00		5022	17	17	0	8.23E+00	3.62E+00	*	17	0	1.87E+01	2.03E+00	*
20007	17	20027	17	17	3	-9.04E+00	0.00E+00		7014	17	17	0	1.19E+01	1.19E+01	*	17	3	4.13E+00	0.00E+00	
20007	17	20162	17	17	1	-1.34E+00	0.00E+00		7014	17	17	0	1.19E+01	1.19E+01	*	17	1	1.35E+01	9.40E+00	*
20008	16	20028	17	16	0	1.04E+01	9.72E+00	*	116-13686	17	16	2	-2.21E+00	0.00E+00		16	3	8.95E+00	0.00E+00	
20008	16	20028	17	16	0	1.04E+01	9.72E+00	*	6217	17	16	0	5.74E+00	5.74E+00	*	16	0	2.09E+01	1.19E+01	*



Offspring ID	Loci typed	Candidate mother ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Candidate father ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Trio loci compared	Trio loci mismatching	Trio LOD score	Trio Delta	Trio confidence
20009	17	20022	17	17	0	5.70E+00	1.77E+00	*	8006	16	16	0	9.50E+00	8.69E+00	*	17	0	1.83E+01	7.65E+00	*
20009	17	20032	17	17	0	3.93E+00	0.00E+00		8006	16	16	0	9.50E+00	8.69E+00	*	17	1	1.06E+01	0.00E+00	
20010	17	20039	17	17	0	1.17E+01	8.47E+00	*	20354	15	15	3	-8.43E+00	0.00E+00		17	3	5.48E+00	0.00E+00	
20010	17	20039	17	17	0	1.17E+01	8.47E+00	*	7014	17	17	0	9.18E+00	9.18E+00	*	17	0	2.71E+01	2.16E+01	*
20011	17	20037	17	17	0	1.04E+01	6.62E+00	*	5347	17	17	1	2.41E+00	0.00E+00		17	1	1.24E+01	0.00E+00	
20011	17	20037	17	17	0	1.04E+01	6.62E+00	*	6618	17	17	0	3.72E+00	0.00E+00		17	0	1.77E+01	5.38E+00	*
20012	17	20027	17	17	0	6.00E+00	4.80E+00	*	6217	17	17	0	8.41E+00	2.78E+00	*	17	0	1.77E+01	9.97E+00	*
20012	17	20027	17	17	0	6.00E+00	4.80E+00	*	6279	17	17	1	2.01E+00	0.00E+00		17	2	7.72E+00	0.00E+00	
20013	17	20032	17	17	0	4.86E+00	4.86E+00	*	20279	17	17	3	-8.06E+00	0.00E+00		17	5	-7.33E+00	0.00E+00	
20013	17	20304	17	17	2	-1.15E+00	0.00E+00		6565	15	15	2	-2.73E+00	0.00E+00		17	5	-3.82E+00	0.00E+00	
20014	17	20029	17	17	0	9.50E+00	9.50E+00	*	8014	17	17	0	1.04E+01	1.01E+01	*	17	0	2.51E+01	2.47E+01	*
20014	17	20112	17	17	2	-3.06E+00	0.00E+00		8014	17	17	0	1.04E+01	1.01E+01	*	17	4	4.13E-01	0.00E+00	
20015	17	20019	15	15	0	8.37E+00	3.16E+00	*	268	17	17	2	-4.38E+00	0.00E+00		17	3	4.57E+00	0.00E+00	
20015	17	20019	15	15	0	8.37E+00	3.16E+00	*	5328	17	17	2	-3.97E+00	0.00E+00		17	3	5.14E+00	5.75E-01	*
20016	17	20036	16	16	0	4.41E+00	0.00E+00		5022	17	17	0	1.46E+01	6.01E+00	*	17	1	1.94E+01	0.00E+00	
20016	17	20038	17	17	0	6.10E+00	1.70E+00	*	5022	17	17	0	1.46E+01	6.01E+00	*	17	0	2.59E+01	6.47E+00	*
20017	17	20027	17	17	0	7.87E+00	5.97E+00	*	6217	17	17	0	8.11E+00	8.11E+00	*	17	0	1.82E+01	8.14E+00	*
20017	17	20322	17	17	2	-5.61E-01	0.00E+00		6217	17	17	0	8.11E+00	8.11E+00	*	17	2	1.01E+01	0.00E+00	
20024	17	20020	16	16	0	8.30E+00	8.30E+00	*	júl.81	17	17	0	8.34E+00	8.34E+00	*	17	0	2.20E+01	1.27E+01	*
20024	17	20018	17	17	2	-4.31E-01	0.00E+00		júl.81	17	17	0	8.34E+00	8.34E+00	*	17	3	9.31E+00	0.00E+00	
20025	17	20023	17	17	2	-3.47E+00	0.00E+00		6279	17	17	0	1.08E+01	1.08E+01	*	17	4	2.17E+00	0.00E+00	
20025	17	20034	17	17	0	1.06E+01	1.06E+01	*	6279	17	17	0	1.08E+01	1.08E+01	*	17	0	2.72E+01	2.50E+01	*
20026	17	20021	17	17	2	-3.89E+00	0.00E+00		6611	17	17	0	1.07E+01	7.60E+00	*	17	3	6.21E+00	0.00E+00	
20026	17	20059	17	17	2	-2.28E+00	0.00E+00		6611	17	17	0	1.07E+01	7.60E+00	*	17	2	1.11E+01	4.92E+00	*
20031	17	20094	17	17	3	-7.17E+00	0.00E+00		20328	17	17	1	1.62E+00	1.62E+00	*	17	4	-3.16E+00	0.00E+00	
20031	17	20036	16	16	0	5.43E+00	5.43E+00	*	646	17	17	2	-1.31E+00	0.00E+00		17	5	-4.13E+00	0.00E+00	
20040	17	20021	17	17	0	7.63E+00	1.46E+00	*	545	17	17	0	7.11E+00	2.41E+00	*	17	0	2.18E+01	4.58E+00	*
20040	17	20021	17	17	0	7.63E+00	1.46E+00	*	9022	17	17	1	4.70E+00	0.00E+00		17	1	1.72E+01	0.00E+00	

Offspring ID	Loci typed	Candidate mother ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Candidate father ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Trio loci compared	Trio loci mismatching	Trio LOD score	Trio Delta	Trio confidence
20051	17	20087	17	17	0	7.13E+00	4.88E+00	*	6209	17	17	0	1.44E+01	1.24E+01	*	17	0	2.73E+01	9.31E+00	*
20051	17	20162	17	17	0	2.24E+00	0.00E+00		6209	17	17	0	1.44E+01	1.24E+01	*	17	1	1.80E+01	0.00E+00	
20052	17	20053	17	17	0	1.26E+01	1.11E+01	*	20290	17	17	4	-2.45E+00	0.00E+00		17	4	9.48E+00	0.00E+00	
20052	17	20053	17	17	0	1.26E+01	1.11E+01	*	8002	17	17	0	1.01E+01	1.01E+01	*	17	0	2.76E+01	1.81E+01	*
20054	17	20053	17	17	1	7.17E+00	0.00E+00		20353	14	14	0	8.60E+00	8.60E+00	*	17	5	1.36E+00	0.00E+00	
20054	17	20055	15	15	0	7.17E+00	1.44E-03	*	20353	14	14	0	8.60E+00	8.60E+00	*	17	3	5.50E+00	4.14E+00	*
20056	17	20057	17	17	0	6.09E+00	4.70E+00	*	6567	17	17	0	8.00E+00	5.57E+00	*	17	0	1.79E+01	1.32E+01	*
20056	17	20104	17	17	2	-1.44E+00	0.00E+00		6567	17	17	0	8.00E+00	5.57E+00	*	17	3	4.74E+00	0.00E+00	
20058	17	20059	17	17	0	6.76E+00	6.76E+00	*	5347	17	17	1	4.98E+00	4.98E+00	*	17	2	1.30E+01	1.18E+01	*
20058	17	20074	17	17	1	-1.11E-01	0.00E+00		5347	17	17	1	4.98E+00	4.98E+00	*	17	4	1.19E+00	0.00E+00	
20060	17	20081	17	17	0	7.91E+00	5.03E+00	*	5341	16	16	1	-2.34E-02	0.00E+00		17	3	5.71E+00	4.18E+00	*
20060	17	20081	17	17	0	7.91E+00	5.03E+00	*	547	17	17	2	-2.84E+00	0.00E+00		17	4	1.53E+00	0.00E+00	
20061	17	20082	17	17	0	1.25E+01	1.25E+01	*	7029	17	17	0	1.76E+01	1.76E+01	*	17	0	3.45E+01	2.59E+01	*
20061	17	20083	17	17	4	-7.90E+00	0.00E+00		7029	17	17	0	1.76E+01	1.76E+01	*	17	5	8.61E+00	0.00E+00	
20062	17	20063	17	17	0	1.22E+01	1.22E+01	*	20353	14	14	2	1.56E+00	1.56E+00	*	17	2	1.64E+01	1.64E+01	*
20062	17	20063	17	17	0	1.22E+01	1.22E+01	*	6279	17	17	4	-1.14E+01	0.00E+00		17	5	-1.63E-01	0.00E+00	
20064	15	20065	17	15	0	8.90E+00	7.46E+00	*	20070	17	15	0	6.91E+00	1.67E+00	*	15	2	9.27E+00	0.00E+00	
20064	15	20065	17	15	0	8.90E+00	7.46E+00	*	6252	17	15	0	5.24E+00	0.00E+00		15	0	1.88E+01	9.53E+00	*
20066	17	20067	17	17	0	9.44E+00	9.44E+00	*	6567	17	17	0	1.15E+01	9.67E+00	*	17	0	2.48E+01	1.35E+01	*
20066	17	20086	17	17	2	-1.57E+00	0.00E+00		6567	17	17	0	1.15E+01	9.67E+00	*	17	2	1.13E+01	0.00E+00	
20068	17	20082	17	17	0	1.29E+01	9.62E+00	*	7029	17	17	0	1.80E+01	1.80E+01	*	17	0	3.04E+01	8.73E+00	*
20068	17	20083	17	17	2	3.28E+00	0.00E+00		7029	17	17	0	1.80E+01	1.80E+01	*	17	2	2.17E+01	0.00E+00	
20071	17	20072	17	17	0	5.56E+00	5.56E+00	*	20069	17	17	0	9.17E+00	9.17E+00	*	17	0	2.05E+01	9.65E+00	*
20071	17	20087	17	17	2	-8.73E-01	0.00E+00		20069	17	17	0	9.17E+00	9.17E+00	*	17	2	1.09E+01	0.00E+00	
20073	17	20022	17	17	2	-2.84E+00	0.00E+00		20070	17	17	0	1.31E+01	1.31E+01	*	17	3	1.00E+01	0.00E+00	
20073	17	20074	17	17	0	8.51E+00	8.51E+00	*	20070	17	17	0	1.31E+01	1.31E+01	*	17	0	2.61E+01	1.61E+01	*
20075	17	20086	17	17	0	1.13E+01	1.13E+01	*	20069	17	17	0	1.23E+01	1.17E+01	*	17	0	2.99E+01	2.67E+01	*
20075	17	20086	17	17	0	1.13E+01	1.13E+01	*	57-10920	16	16	4	-1.00E+01	0.00E+00		17	4	3.18E+00	0.00E+00	

Offspring ID	Loci typed	Candidate mother ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Candidate father ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Trio loci compared	Trio loci mismatching	Trio LOD score	Trio Delta	Trio confidence
20076	17	20021	17	17	2	-2.91E+00	0.00E+00		21-10905	16	16	0	1.04E+01	5.84E+00	*	17	2	8.64E+00	0.00E+00	
20076	17	20077	17	17	0	5.10E+00	2.55E+00	*	21-10905	16	16	0	1.04E+01	5.84E+00	*	17	0	2.21E+01	1.35E+01	*
20078	17	20079	17	17	0	1.29E+01	1.24E+01	*	30-12914	17	17	2	-5.39E+00	0.00E+00		17	2	1.11E+01	1.16E+00	*
20078	17	20079	17	17	0	1.29E+01	1.24E+01	*	7808	17	17	2	-2.68E+00	0.00E+00		17	3	9.90E+00	0.00E+00	
20080	17	20081	17	17	0	1.26E+01	1.10E+01	*	20326	15	15	1	1.53E+00	1.53E+00	*	17	2	1.15E+01	6.26E+00	*
20080	17	20081	17	17	0	1.26E+01	1.10E+01	*	31-16554	17	17	3	-5.85E+00	0.00E+00		17	4	5.22E+00	0.00E+00	
20084	17	20019	15	15	0	5.96E+00	0.00E+00		5065	17	17	0	7.45E+00	0.00E+00		17	1	1.38E+01	0.00E+00	
20084	17	20085	17	17	0	6.99E+00	0.00E+00		5065	17	17	0	7.45E+00	0.00E+00		17	0	1.87E+01	4.87E+00	*
20088	17	20089	17	17	0	8.98E+00	0.00E+00		31-16554	17	17	0	1.18E+01	0.00E+00		17	1	2.15E+01	0.00E+00	
20088	17	20089	17	17	0	8.98E+00	0.00E+00		5061	17	17	0	1.56E+01	3.78E+00	*	17	0	2.91E+01	7.64E+00	*
20090	17	20091	16	16	0	1.20E+01	9.65E+00	*	15967	17	17	1	6.89E+00	6.89E+00	*	17	1	2.41E+01	2.00E+01	*
20090	17	20091	16	16	0	1.20E+01	9.65E+00	*	20328	17	17	1	-9.76E-02	0.00E+00		17	4	4.13E+00	0.00E+00	
20092	17	20077	17	17	0	6.92E+00	6.92E+00	*	20332	17	17	3	-6.14E-01	0.00E+00		17	4	5.19E+00	0.00E+00	
20092	17	20077	17	17	0	6.92E+00	6.92E+00	*	5022	17	17	0	1.34E+01	1.34E+01	*	17	0	2.58E+01	2.06E+01	*
20093	17	20027	17	17	1	-2.83E+00	0.00E+00		547	17	17	0	1.47E+01	1.33E+01	*	17	3	7.82E+00	0.00E+00	
20093	17	20094	17	17	0	4.99E+00	4.99E+00	*	547	17	17	0	1.47E+01	1.33E+01	*	17	0	2.46E+01	1.68E+01	*
20095	17	20096	17	17	0	1.27E+01	7.04E+00	*	290	17	17	1	-2.92E+00	0.00E+00		17	2	1.18E+01	0.00E+00	
20095	17	20096	17	17	0	1.27E+01	7.04E+00	*	6492	17	17	0	5.60E+00	5.35E+00	*	17	0	2.53E+01	1.35E+01	*
20097	17	20098	17	17	0	1.63E+01	1.21E+01	*	1-18340	17	17	1	-5.24E-01	0.00E+00		17	3	9.86E+00	0.00E+00	
20097	17	20098	17	17	0	1.63E+01	1.21E+01	*	20334	17	17	2	-3.52E+00	0.00E+00		17	3	1.39E+01	4.08E+00	*
20099	17	20065	17	17	1	5.88E+00	1.57E+00	*	6539	17	17	0	1.07E+01	1.07E+01	*	17	1	2.09E+01	6.87E-01	*
20099	17	20100	17	17	1	4.31E+00	0.00E+00		6539	17	17	0	1.07E+01	1.07E+01	*	17	1	2.03E+01	0.00E+00	
20114	17	20104	17	17	0	1.10E+01	9.73E+00	*	550	17	17	2	-3.30E+00	0.00E+00		17	4	4.82E+00	0.00E+00	
20114	17	20104	17	17	0	1.10E+01	9.73E+00	*	9021	17	17	1	-1.58E+00	0.00E+00		17	3	6.04E+00	1.22E+00	*
20116	17	20021	17	17	3	-6.52E+00	0.00E+00		495	17	17	0	6.09E+00	4.75E+00	*	17	5	-5.65E+00	0.00E+00	
20116	17	20029	17	17	3	-7.70E+00	0.00E+00		495	17	17	0	6.09E+00	4.75E+00	*	17	5	-2.13E+00	0.00E+00	
20118	17	20101	17	17	0	1.02E+01	8.55E+00	*	20335	16	16	0	6.59E+00	9.89E-01	*	17	1	1.90E+01	0.00E+00	
20118	17	20101	17	17	0	1.02E+01	8.55E+00	*	5065	17	17	0	5.60E+00	0.00E+00		17	0	2.20E+01	2.97E+00	*

Offspring ID	Loci typed	Candidate mother ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Candidate father ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Trio loci compared	Trio loci mismatching	Trio LOD score	Trio Delta	Trio confidence
20119	17	20086	17	17	3	-1.09E+01	0.00E+00		15967	17	17	1	1.00E+01	1.00E+01	*	17	3	4.69E+00	0.00E+00	
20119	17	20102	17	17	0	8.15E+00	8.15E+00	*	15967	17	17	1	1.00E+01	1.00E+01	*	17	1	2.05E+01	1.58E+01	*
20120	17	20104	17	17	0	7.65E+00	7.65E+00	*	15968	17	17	0	9.85E+00	9.85E+00	*	17	0	2.26E+01	1.83E+01	*
20120	17	20208	17	17	3	-8.84E+00	0.00E+00		15968	17	17	0	9.85E+00	9.85E+00	*	17	3	4.29E+00	0.00E+00	
20122	17	20107	17	17	0	1.17E+01	5.96E+00	*	57-10920	16	16	1	3.23E+00	3.23E+00	*	17	1	1.97E+01	8.73E+00	*
20122	17	20107	17	17	0	1.17E+01	5.96E+00	*	6482	17	17	2	-4.66E-01	0.00E+00		17	3	1.10E+01	0.00E+00	
20123	17	20106	17	17	0	1.26E+01	1.26E+01	*	20332	17	17	2	-2.80E+00	0.00E+00		17	2	1.45E+01	0.00E+00	
20123	17	20106	17	17	0	1.26E+01	1.26E+01	*	5022	17	17	0	5.42E+00	5.42E+00	*	17	0	2.47E+01	1.02E+01	*
20124	17	20112	17	17	1	4.89E+00	4.89E+00	*	6539	17	17	0	6.88E+00	4.30E+00	*	17	1	1.80E+01	1.13E+01	*
20124	17	20112	17	17	1	4.89E+00	4.89E+00	*	6611	17	17	1	9.80E-01	0.00E+00		17	3	6.70E+00	0.00E+00	
20125	17	20159	17	17	2	-1.07E+00	0.00E+00		20197	17	17	1	2.75E+00	1.10E+00	*	17	3	4.06E+00	2.36E+00	*
20125	17	20159	17	17	2	-1.07E+00	0.00E+00		5341	16	16	2	-3.32E+00	0.00E+00		17	3	1.70E+00	0.00E+00	
20163	17	20028	17	17	2	-1.58E+00	0.00E+00		40-12915	16	16	0	1.06E+01	6.69E+00	*	17	4	3.39E+00	3.39E+00	*
20163	17	20156	17	17	0	6.06E+00	4.03E+00	*	6567	17	17	0	3.95E+00	0.00E+00		17	5	-1.97E+00	0.00E+00	
20164	17	20162	17	17	0	9.43E-01	0.00E+00		649	17	17	0	5.08E+00	2.66E+00	*	17	2	6.56E+00	2.29E+00	*
20164	17	20308	17	17	0	4.70E+00	3.38E-01	*	649	17	17	0	5.08E+00	2.66E+00	*	17	3	4.27E+00	0.00E+00	
20165	17	20022	17	17	2	-3.52E+00	0.00E+00		6565	15	15	0	1.02E+01	9.11E+00	*	17	2	1.03E+01	0.00E+00	
20165	17	20154	17	17	0	1.04E+01	8.07E+00	*	6565	15	15	0	1.02E+01	9.11E+00	*	17	0	2.38E+01	1.35E+01	*
20166	17	20155	17	17	0	1.22E+01	1.22E+01	*	15967	17	17	1	3.50E+00	3.50E+00	*	17	1	1.98E+01	1.54E+01	*
20166	17	20155	17	17	0	1.22E+01	1.22E+01	*	20285	17	17	3	-7.45E+00	0.00E+00		17	4	4.43E+00	0.00E+00	
20167	17	20019	15	15	1	1.35E+00	0.00E+00		6217	17	17	0	7.72E+00	2.02E+00	*	17	1	1.18E+01	0.00E+00	
20167	17	20156	17	17	0	5.59E+00	3.00E+00	*	6217	17	17	0	7.72E+00	2.02E+00	*	17	0	1.62E+01	4.44E+00	*
20168	17	20033	17	17	2	-3.06E+00	0.00E+00		649	17	17	0	1.31E+01	1.31E+01	*	17	3	6.89E+00	0.00E+00	
20168	17	20298	17	17	2	-4.89E+00	0.00E+00		649	17	17	0	1.31E+01	1.31E+01	*	17	3	7.53E+00	6.37E-01	*
20169	17	20157	17	17	0	2.14E+01	2.14E+01	*	15-18344	17	17	3	-6.32E+00	0.00E+00		17	4	1.33E+01	0.00E+00	
20169	17	20157	17	17	0	2.14E+01	2.14E+01	*	57-10920	16	16	1	4.17E+00	4.17E+00	*	17	1	2.87E+01	1.53E+01	*
20170	17	20161	17	17	0	1.34E+01	9.92E+00	*	18489	16	16	2	-6.80E-01	0.00E+00		17	3	1.16E+01	0.00E+00	
20170	17	20161	17	17	0	1.34E+01	9.92E+00	*	6492	17	17	0	1.16E+01	1.15E+01	*	17	0	2.83E+01	1.67E+01	*

Offspring ID	Loci typed	Candidate mother ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Candidate father ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Trio loci compared	Trio loci mismatching	Trio LOD score	Trio Delta	Trio confidence
20171	17	20153	17	17	0	5.48E+00	9.51E-01	*	646	17	17	1	2.68E+00	1.27E+00	*	17	3	6.01E+00	2.41E+00	*
20171	17	20215	17	17	1	3.15E+00	0.00E+00		649	17	17	0	-1.55E-01	0.00E+00		17	2	3.60E+00	0.00E+00	
20172	17	20020	16	16	2	-3.87E-01	0.00E+00		5022	17	17	0	1.05E+01	9.97E+00	*	17	2	1.17E+01	0.00E+00	
20172	17	20160	17	17	0	8.54E+00	8.32E+00	*	5022	17	17	0	1.05E+01	9.97E+00	*	17	0	2.04E+01	8.63E+00	*
20173	17	20159	17	17	0	1.06E+01	7.59E+00	*	20198	17	17	2	-2.67E+00	0.00E+00		17	3	7.67E+00	0.00E+00	
20173	17	20159	17	17	0	1.06E+01	7.59E+00	*	545	17	17	1	-5.05E-01	0.00E+00		17	2	1.22E+01	4.55E+00	*
20174	17	20158	17	17	0	4.28E+00	0.00E+00		5347	17	17	0	6.55E+00	6.19E+00	*	17	1	1.19E+01	4.76E+00	*
20174	17	20309	17	17	0	4.61E+00	3.36E-01	*	5347	17	17	0	6.55E+00	6.19E+00	*	17	2	7.12E+00	0.00E+00	
20175	17	20162	17	17	0	7.76E+00	3.92E+00	*	5341	16	16	1	-1.34E+00	0.00E+00		17	2	5.44E+00	0.00E+00	
20175	17	20162	17	17	0	7.76E+00	3.92E+00	*	57-10920	16	16	1	1.58E+00	1.58E+00	*	17	1	1.07E+01	5.24E+00	*
20239	17	20238	17	17	0	1.02E+01	1.02E+01	*	11-16342	17	17	0	1.87E+01	1.50E+01	*	17	0	3.22E+01	1.92E+01	*
20239	17	20238	17	17	0	1.02E+01	1.02E+01	*	20279	17	17	2	3.65E+00	0.00E+00		17	3	1.31E+01	0.00E+00	
20278	17	20297	17	17	0	2.26E+01	2.26E+01	*	20288	17	17	1	1.00E+01	6.66E+00	*	17	1	3.46E+01	1.75E+01	*
20278	17	20297	17	17	0	2.26E+01	2.26E+01	*	6275	17	17	3	-2.05E+00	0.00E+00		17	4	1.71E+01	0.00E+00	
20280	17	20299	17	17	2	3.43E+00	3.43E+00	*	20276	17	17	2	-5.31E-01	0.00E+00		17	2	1.18E+01	1.09E+01	*
20280	17	20299	17	17	2	3.43E+00	3.43E+00	*	8008	17	17	3	-7.68E+00	0.00E+00		17	4	9.17E-01	0.00E+00	
20281	17	20295	14	14	2	3.23E-01	3.23E-01	*	20277	17	17	2	6.22E+00	6.22E+00	*	17	2	1.33E+01	9.06E+00	*
20281	17	20296	15	15	3	-5.79E+00	0.00E+00		20277	17	17	2	6.22E+00	6.22E+00	*	17	4	4.21E+00	0.00E+00	
20282	17	20298	17	17	0	8.92E+00	8.92E+00	*	20290	17	17	0	1.43E+01	1.28E+01	*	17	0	2.61E+01	1.85E+01	*
20282	17	20298	17	17	0	8.92E+00	8.92E+00	*	550	17	17	1	1.50E+00	0.00E+00		17	3	7.60E+00	0.00E+00	
20283	17	20055	15	15	3	-5.72E+00	0.00E+00		20288	17	17	0	1.23E+01	1.23E+01	*	17	3	9.06E+00	0.00E+00	
20283	17	20296	15	15	2	-2.73E+00	0.00E+00		20288	17	17	0	1.23E+01	1.23E+01	*	17	2	1.13E+01	2.23E+00	*
20289	17	20291	17	17	0	1.58E+01	7.82E+00	*	20361	15	15	1	2.18E+00	2.18E+00	*	17	3	1.10E+01	0.00E+00	
20289	17	20291	17	17	0	1.58E+01	7.82E+00	*	7011	17	17	3	-5.23E+00	0.00E+00		17	3	1.37E+01	2.72E+00	*
20302	16	20308	17	16	0	9.55E+00	9.55E+00	*	6217	17	16	0	7.72E+00	7.72E+00	*	16	0	2.03E+01	1.55E+01	*
20302	16	20308	17	16	0	9.55E+00	9.55E+00	*	6252	17	16	2	-1.67E+00	0.00E+00		16	3	4.72E+00	0.00E+00	
20310	16	20304	17	16	0	9.44E+00	9.44E+00	*	11-16325	17	16	2	-4.11E+00	0.00E+00		16	4	1.72E+00	0.00E+00	
20310	16	20304	17	16	0	9.44E+00	9.44E+00	*	6567	17	16	0	5.65E+00	5.65E+00	*	16	0	2.08E+01	1.91E+01	*

Offspring ID	Loci typed	Candidate mother ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Candidate father ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Trio loci compared	Trio loci mismatching	Trio LOD score	Trio Delta	Trio confidence
20311	17	20325	17	17	0	7.66E+00	5.94E+00	*	1197	17	17	0	9.56E+00	2.67E+00	*	17	0	1.84E+01	6.29E+00	*
20311	17	20325	17	17	0	7.66E+00	5.94E+00	*	20327	17	17	0	6.89E+00	0.00E+00		17	1	1.22E+01	0.00E+00	
20312	17	20032	17	17	1	1.40E+00	0.00E+00		268	17	17	0	1.01E+01	1.01E+01	*	17	3	6.50E+00	0.00E+00	
20312	17	20303	17	17	0	1.06E+01	9.24E+00	*	268	17	17	0	1.01E+01	1.01E+01	*	17	0	2.33E+01	1.68E+01	*
20313	17	20306	17	17	0	1.16E+01	6.28E+00	*	1197	17	17	0	1.03E+01	4.49E+00	*	17	0	2.70E+01	4.11E+00	*
20313	17	20306	17	17	0	1.16E+01	6.28E+00	*	20337	17	17	0	5.82E+00	0.00E+00		17	0	2.29E+01	0.00E+00	
20314	17	20319	17	17	0	1.32E+01	4.62E+00	*	5065	17	17	0	1.31E+01	9.86E+00	*	17	0	2.92E+01	1.39E+01	*
20314	17	20319	17	17	0	1.32E+01	4.62E+00	*	6532	17	17	2	1.08E+00	0.00E+00		17	2	1.53E+01	0.00E+00	
20315	17	20305	17	17	0	1.07E+01	1.07E+01	*	268	17	17	0	7.34E+00	2.76E+00	*	17	0	2.32E+01	1.70E+01	*
20315	17	20305	17	17	0	1.07E+01	1.07E+01	*	6532	17	17	2	4.59E+00	0.00E+00		17	3	6.19E+00	0.00E+00	
20316	17	20319	17	17	0	1.07E+01	8.48E+00	*	5065	17	17	0	9.90E+00	5.78E+00	*	17	0	2.20E+01	1.17E+01	*
20316	17	20319	17	17	0	1.07E+01	8.48E+00	*	8008	17	17	2	-2.03E+00	0.00E+00		17	2	1.03E+01	0.00E+00	
20317	17	20110	17	17	2	-2.13E+00	0.00E+00		268	17	17	0	1.16E+01	8.05E+00	*	17	2	1.05E+01	0.00E+00	
20317	17	20322	17	17	0	8.90E+00	8.90E+00	*	268	17	17	0	1.16E+01	8.05E+00	*	17	0	2.48E+01	1.43E+01	*
20318	17	20305	17	17	0	7.08E+00	7.08E+00	*	268	17	17	0	8.15E+00	8.15E+00	*	17	0	1.99E+01	1.75E+01	*
20318	17	20033	17	17	2	-1.14E+00	0.00E+00		6532	17	17	3	-1.65E+00	0.00E+00		17	3	2.37E+00	0.00E+00	
20321	17	20032	17	17	2	-1.06E+00	0.00E+00		6252	17	17	1	5.99E-01	0.00E+00		17	4	-1.28E+00	0.00E+00	
20321	17	20032	17	17	2	-1.06E+00	0.00E+00		9021	17	17	1	1.58E-01	0.00E+00		17	4	-1.79E+00	0.00E+00	
20323	17	20309	17	17	0	1.23E+01	1.08E+01	*	5065	17	17	0	1.02E+01	1.53E+00	*	17	1	2.01E+01	0.00E+00	
20323	17	20309	17	17	0	1.23E+01	1.08E+01	*	6532	17	17	0	8.62E+00	0.00E+00		17	0	2.36E+01	3.42E+00	*
20324	17	20126	17	17	1	3.45E+00	0.00E+00		268	17	17	0	7.57E+00	5.93E+00	*	17	3	6.89E+00	0.00E+00	
20324	17	20301	17	17	0	1.18E+01	8.37E+00	*	268	17	17	0	7.57E+00	5.93E+00	*	17	0	2.32E+01	1.63E+01	*
17-479	17	20077	17	17	1	-9.15E-02	0.00E+00		562	17	17	0	9.29E+00	9.29E+00	*	17	2	9.54E+00	0.00E+00	
17-479	17	20108	17	17	0	5.96E+00	2.82E+00	*	562	17	17	0	9.29E+00	9.29E+00	*	17	0	2.26E+01	1.30E+01	*
17-480	17	20109	17	17	0	1.25E+01	1.09E+01	*	20326	15	15	2	-3.02E+00	0.00E+00		17	2	1.05E+01	0.00E+00	
17-480	17	20109	17	17	0	1.25E+01	1.09E+01	*	562	17	17	0	7.18E+00	5.30E+00	*	17	0	2.56E+01	1.50E+01	*
17-481	16	20085	17	16	1	2.23E+00	0.00E+00		5065	17	16	0	8.92E+00	6.25E+00	*	16	3	5.96E+00	0.00E+00	
17-481	16	20105	17	16	0	6.91E+00	4.68E+00	*	5065	17	16	0	8.92E+00	6.25E+00	*	16	0	2.19E+01	1.60E+01	*

Offspring ID	Loci typed	Candidate mother ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Candidate father ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Trio loci compared	Trio loci mismatching	Trio LOD score	Trio Delta	Trio confidence
17-483	17	20102	17	17	0	7.38E+00	7.38E+00	*	15967	17	17	1	9.91E+00	9.91E+00	*	17	1	1.96E+01	1.63E+01	*
17-483	17	20211	17	17	2	-3.71E+00	0.00E+00		15967	17	17	1	9.91E+00	9.91E+00	*	17	4	3.37E+00	0.00E+00	
18486	17	20107	17	17	0	1.03E+01	9.65E+00	*	57-10920	16	16	0	6.93E+00	6.93E+00	*	17	0	2.24E+01	1.40E+01	*
18486	17	20107	17	17	0	1.03E+01	9.65E+00	*	6618	17	17	2	-2.73E-01	0.00E+00		17	3	8.41E+00	0.00E+00	
18488	17	20106	17	17	1	3.92E+00	3.92E+00	*	5022	17	17	0	1.41E+01	1.41E+01	*	17	1	2.25E+01	1.99E+01	*
18488	17	20161	17	17	3	-7.37E+00	0.00E+00		5022	17	17	0	1.41E+01	1.41E+01	*	17	5	2.52E+00	0.00E+00	
18492	17	20121	17	17	0	1.56E+01	9.55E+00	*	20192	17	17	1	1.83E-01	1.83E-01	*	17	3	1.20E+01	0.00E+00	
18492	17	20121	17	17	0	1.56E+01	9.55E+00	*	20328	17	17	2	-5.45E+00	0.00E+00		17	2	1.48E+01	2.71E+00	*
19-402	17	20103	17	17	0	9.61E+00	4.13E+00	*	5341	16	16	2	-1.60E+00	0.00E+00		17	2	1.04E+01	0.00E+00	
19-402	17	20103	17	17	0	9.61E+00	4.13E+00	*	8006	16	16	0	7.87E+00	6.23E+00	*	17	0	2.14E+01	1.10E+01	*
19-404	17	20111	17	17	0	1.16E+01	1.16E+01	*	6532	17	17	0	1.05E+01	1.05E+01	*	17	0	2.88E+01	2.63E+01	*
19-404	17	20208	17	17	2	-4.32E+00	0.00E+00		6532	17	17	0	1.05E+01	1.05E+01	*	17	4	2.48E+00	0.00E+00	
19-406	17	20159	17	17	1	3.80E+00	1.78E+00	*	18489	16	16	0	3.61E+00	2.59E+00	*	17	2	7.00E+00	2.21E-01	*
19-406	17	20159	17	17	1	3.80E+00	1.78E+00	*	20192	17	17	1	1.02E+00	0.00E+00		17	2	6.78E+00	0.00E+00	
19-407	17	20034	17	17	0	7.72E+00	0.00E+00		6492	17	17	1	1.73E+00	0.00E+00		17	1	1.42E+01	1.36E+00	*
19-407	17	20115	17	17	0	8.41E+00	6.88E-01	*	6492	17	17	1	1.73E+00	0.00E+00		17	1	1.29E+01	0.00E+00	
20207	17	20203	17	17	0	1.01E+01	1.01E+01	*	61-10897	17	17	0	1.33E+01	1.24E+01	*	17	0	2.61E+01	1.85E+01	*
20207	17	20235	17	17	2	-1.38E+00	0.00E+00		61-10897	17	17	0	1.33E+01	1.24E+01	*	17	4	7.58E+00	0.00E+00	
20218	17	20204	17	17	0	1.10E+01	1.10E+01	*	1-18340	17	17	1	2.47E+00	0.00E+00		17	3	8.35E+00	0.00E+00	
20218	17	20204	17	17	0	1.10E+01	1.10E+01	*	5328	17	17	0	7.29E+00	2.43E+00	*	17	0	2.56E+01	1.73E+01	*
20219	17	20205	17	17	0	1.54E+01	1.37E+01	*	20355	17	17	4	-7.65E+00	0.00E+00		17	5	3.40E+00	0.00E+00	
20219	17	20205	17	17	0	1.54E+01	1.37E+01	*	6273	17	17	1	2.89E+00	2.38E+00	*	17	1	2.38E+01	2.04E+01	*
20220	17	20216	17	17	0	1.80E+01	1.80E+01	*	20288	17	17	2	1.91E+00	0.00E+00		17	3	1.53E+01	0.00E+00	
20220	17	20216	17	17	0	1.80E+01	1.80E+01	*	6275	17	17	0	1.29E+01	3.91E+00	*	17	0	3.22E+01	1.69E+01	*
20221	17	20211	17	17	0	9.37E+00	8.93E+00	*	340	17	17	0	4.87E+00	4.87E+00	*	17	0	1.97E+01	1.79E+01	*
20221	17	20211	17	17	0	9.37E+00	8.93E+00	*	7011	17	17	3	-8.06E+00	0.00E+00		17	3	1.80E+00	0.00E+00	
20222	17	20214	17	17	0	8.73E+00	8.73E+00	*	1-18340	17	17	1	1.68E+00	0.00E+00		17	2	8.12E+00	6.35E-02	*
20222	17	20214	17	17	0	8.73E+00	8.73E+00	*	8208	17	17	2	-1.07E+00	0.00E+00		17	3	8.06E+00	0.00E+00	

Offspring ID	Loci typed	Candidate mother ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Candidate father ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Trio loci compared	Trio loci mismatching	Trio LOD score	Trio Delta	Trio confidence
20223	17	20213	17	17	0	1.87E+01	1.58E+01	*	20284	17	17	4	-9.31E+00	0.00E+00		17	4	8.25E+00	0.00E+00	
20223	17	20213	17	17	0	1.87E+01	1.58E+01	*	20353	14	14	1	3.24E+00	3.24E+00	*	17	2	1.89E+01	1.06E+01	*
20224	17	20201	17	17	0	1.04E+01	7.29E+00	*	7011	17	17	0	1.59E+01	1.59E+01	*	17	0	2.95E+01	1.82E+01	*
20224	17	20234	17	17	2	-6.09E+00	0.00E+00		7011	17	17	0	1.59E+01	1.59E+01	*	17	3	1.13E+01	0.00E+00	
20225	17	20201	17	17	1	5.63E+00	0.00E+00		1-18340	17	17	0	1.05E+01	1.03E+01	*	17	2	1.20E+01	0.00E+00	
20225	17	20202	17	17	0	7.58E+00	1.96E+00	*	1-18340	17	17	0	1.05E+01	1.03E+01	*	17	0	2.24E+01	1.03E+01	*
20226	17	20210	17	17	0	1.47E+01	1.21E+01	*	374	17	17	0	3.78E+00	2.87E+00	*	17	0	2.60E+01	1.48E+01	*
20226	17	20210	17	17	0	1.47E+01	1.21E+01	*	6611	17	17	2	-6.35E+00	0.00E+00		17	3	1.12E+01	0.00E+00	
20227	17	20209	17	17	0	6.75E+00	6.75E+00	*	374	17	17	0	1.12E+01	1.12E+01	*	17	0	2.42E+01	1.67E+01	*
20227	17	20213	17	17	3	-7.66E+00	0.00E+00		374	17	17	0	1.12E+01	1.12E+01	*	17	3	7.42E+00	0.00E+00	
20228	17	20023	17	17	1	2.04E+00	0.00E+00		15-18344	17	17	0	7.96E+00	7.96E+00	*	17	3	5.63E+00	0.00E+00	
20228	17	20215	17	17	0	1.09E+01	8.83E+00	*	15-18344	17	17	0	7.96E+00	7.96E+00	*	17	0	2.40E+01	1.83E+01	*
20229	17	20211	17	17	0	7.20E+00	2.65E+00	*	15-18344	17	17	0	5.47E+00	2.36E+00	*	17	0	1.63E+01	1.08E+01	*
20229	17	20211	17	17	0	7.20E+00	2.65E+00	*	8006	16	16	2	-3.59E+00	0.00E+00		17	2	5.45E+00	0.00E+00	
20230	17	20208	17	17	0	8.67E+00	2.33E-01	*	1-18340	17	17	2	-4.38E+00	0.00E+00		17	2	6.89E+00	3.18E+00	*
20230	17	20291	17	17	0	8.44E+00	0.00E+00		20354	15	15	1	1.44E+00	1.44E+00	*	17	3	3.71E+00	0.00E+00	
20231	17	20153	17	17	3	-7.12E+00	0.00E+00		7311	17	17	0	8.30E+00	4.56E+00	*	17	4	2.24E+00	8.23E-01	*
20231	17	20036	16	16	0	4.15E+00	3.70E+00	*	9-16340	17	17	1	3.68E+00	0.00E+00		17	4	1.41E+00	0.00E+00	
20232	17	20206	17	17	0	1.56E+01	1.05E+01	*	1-18340	17	17	2	-5.56E-01	0.00E+00		17	4	8.71E+00	4.70E+00	*
20232	17	20206	17	17	0	1.56E+01	1.05E+01	*	20353	14	14	4	-1.19E+01	0.00E+00		17	4	4.01E+00	0.00E+00	
20233	17	20234	17	17	0	1.63E+01	1.63E+01	*	20352	17	17	3	-6.73E+00	0.00E+00		17	5	4.57E+00	0.00E+00	
20233	17	20234	17	17	0	1.63E+01	1.63E+01	*	290	17	17	0	6.55E+00	6.55E+00	*	17	0	2.94E+01	2.49E+01	*
20236	17	20235	17	17	0	1.34E+01	1.34E+01	*	20354	15	15	3	-9.51E+00	0.00E+00		17	4	4.19E+00	4.19E+00	*
20236	17	20235	17	17	0	1.34E+01	1.34E+01	*	5021	16	16	2	-1.79E+00	0.00E+00		17	6	-8.31E-01	0.00E+00	
20237	17	20235	17	17	0	1.34E+01	1.34E+01	*	20152	17	17	2	-4.00E+00	0.00E+00		17	2	1.08E+01	1.73E+00	*
20237	17	20235	17	17	0	1.34E+01	1.34E+01	*	6275	17	17	2	-4.25E+00	0.00E+00		17	3	9.05E+00	0.00E+00	
20362	17	20363	17	17	0	8.97E+00	6.53E+00	*	20361	15	15	2	-3.94E+00	0.00E+00		17	2	8.88E+00	0.00E+00	
20362	17	20363	17	17	0	8.97E+00	6.53E+00	*	7029	17	17	0	9.13E+00	9.13E+00	*	17	0	2.29E+01	1.40E+01	*



Offspring ID	Loci typed	Candidate mother ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Candidate father ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Trio loci compared	Trio loci mismatching	Trio LOD score	Trio Delta	Trio confidence
20127	17	20104	17	17	1	2.43E+00	0.00E+00		6565	15	15	0	1.14E+01	1.14E+01	*	17	3	7.64E+00	0.00E+00	
20127	17	20113	17	17	0	7.53E+00	5.11E+00	*	6565	15	15	0	1.14E+01	1.14E+01	*	17	0	2.09E+01	1.32E+01	*
20129	14	20112	17	14	0	7.69E+00	3.64E+00	*	20334	17	14	0	4.58E+00	4.33E-01	*	14	0	1.65E+01	6.97E-01	*
20129	14	20112	17	14	0	7.69E+00	3.64E+00	*	8008	17	14	0	4.14E+00	0.00E+00		14	0	1.59E+01	0.00E+00	
20130	17	20101	17	17	0	1.49E+01	1.49E+01	*	20195	17	17	2	-5.43E+00	0.00E+00		17	2	1.31E+01	9.91E-01	*
20130	17	20101	17	17	0	1.49E+01	1.49E+01	*	20276	17	17	2	-6.22E+00	0.00E+00		17	2	1.21E+01	0.00E+00	
19-401	17	20112	17	17	0	1.23E+01	1.23E+01	*	20195	17	17	1	-3.69E-01	0.00E+00		17	2	1.25E+01	0.00E+00	
19-401	17	20112	17	17	0	1.23E+01	1.23E+01	*	8008	17	17	0	6.21E+00	4.15E+00	*	17	0	2.41E+01	1.17E+01	*
19-403	17	20086	17	17	2	-4.16E+00	0.00E+00		6565	15	15	0	1.32E+01	1.32E+01	*	17	4	4.21E+00	0.00E+00	
19-403	17	20113	17	17	0	8.22E+00	8.22E+00	*	6565	15	15	0	1.32E+01	1.32E+01	*	17	0	2.57E+01	2.15E+01	*
20128	17	20111	17	17	0	1.01E+01	1.01E+01	*	5065	17	17	1	4.12E+00	0.00E+00		17	3	8.81E+00	0.00E+00	
20128	17	20111	17	17	0	1.01E+01	1.01E+01	*	6532	17	17	0	7.61E+00	3.49E+00	*	17	0	2.26E+01	1.37E+01	*
19-405	17	20101	17	17	0	1.53E+01	1.24E+01	*	20331	17	17	3	-6.46E+00	0.00E+00		17	4	6.40E+00	0.00E+00	
19-405	17	20101	17	17	0	1.53E+01	1.24E+01	*	495	17	17	3	-4.20E+00	0.00E+00		17	3	1.26E+01	6.21E+00	*
5340	16	20104	17	16	0	9.38E+00	1.41E-01	*	15-18344	17	16	2	-1.33E+00	0.00E+00		16	4	1.95E+00	6.07E-01	*
5340	16	20104	17	16	0	9.38E+00	1.41E-01	*	9022	17	16	2	-3.51E+00	0.00E+00		16	4	1.34E+00	0.00E+00	
18491	17	20115	17	17	0	1.07E+01	7.75E+00	*	6217	17	17	0	7.10E+00	6.70E+00	*	17	0	1.90E+01	6.42E+00	*
18491	17	20115	17	17	0	1.07E+01	7.75E+00	*	9021	17	17	1	4.00E-01	0.00E+00		17	1	1.26E+01	0.00E+00	
20329	17	20301	17	17	0	5.78E+00	5.78E+00	*	20152	17	17	1	4.64E-01	0.00E+00		17	2	5.32E+00	0.00E+00	
20329	17	20301	17	17	0	5.78E+00	5.78E+00	*	268	17	17	0	7.47E+00	7.01E+00	*	17	0	1.78E+01	1.25E+01	*
20217	17	20036	16	16	2	-4.31E+00	0.00E+00		9-16340	17	17	0	1.48E+01	1.07E+01	*	17	2	1.29E+01	0.00E+00	
20217	17	20212	17	17	0	1.13E+01	1.13E+01	*	9-16340	17	17	0	1.48E+01	1.07E+01	*	17	0	2.73E+01	1.44E+01	*
20117	17	20109	17	17	0	7.83E+00	7.79E+00	*	20354	15	15	3	-7.02E+00	0.00E+00		17	3	2.09E+00	0.00E+00	
20117	17	20109	17	17	0	7.83E+00	7.79E+00	*	550	17	17	2	-4.07E+00	0.00E+00		17	3	4.42E+00	2.33E+00	*
12-17408	17	jún.90	17	17	0	1.22E+01	4.53E+00	*	11-16325	17	17	0	1.25E+01	4.91E+00	*	17	0	2.71E+01	7.60E+00	*
12-17408	17	jún.90	17	17	0	1.22E+01	4.53E+00	*	9025	17	17	1	7.59E+00	0.00E+00		17	1	1.95E+01	0.00E+00	
5-17108	17	77-14900	17	17	0	1.64E+01	1.19E+01	*	5021	16	16	1	7.22E-01	0.00E+00		17	2	1.36E+01	0.00E+00	
5-17108	17	77-14900	17	17	0	1.64E+01	1.19E+01	*	7018	17	17	0	9.08E+00	2.22E+00	*	17	0	2.74E+01	1.38E+01	*

Offspring ID	Loci typed	Candidate mother ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Candidate father ID	Loci typed	Pair loci compared	Pair loci mismatching	Pair LOD score	Pair Delta	Pair confidence	Trio loci compared	Trio loci mismatching	Trio LOD score	Trio Delta	Trio confidence
111-14400	17	106-12299	16	16	0	1.50E+01	6.32E+00	*	116-13686	17	17	0	1.20E+01	1.20E+01	*	17	0	3.12E+01	1.66E+01	*
111-14400	17	9-10036	17	17	1	8.64E+00	0.00E+00		116-13686	17	17	0	1.20E+01	1.20E+01	*	17	3	1.46E+01	0.00E+00	
121-16756	17	106-12299	16	16	0	1.17E+01	0.00E+00		123-14786	17	17	0	1.20E+01	5.52E+00	*	17	2	1.40E+01	0.00E+00	
121-16756	17	127-13474	16	16	0	1.21E+01	4.39E-01	*	123-14786	17	17	0	1.20E+01	5.52E+00	*	17	0	2.72E+01	1.31E+01	*
33-18133	17	20201	17	17	1	-1.81E+00	0.00E+00		31-16554	17	17	0	2.12E+01	1.01E+01	*	17	2	2.06E+01	0.00E+00	
33-18133	17	5-13064	17	17	0	8.83E+00	3.10E+00	*	31-16554	17	17	0	2.12E+01	1.01E+01	*	17	0	3.61E+01	1.55E+01	*
35-18132	17	82-9902	17	17	1	5.14E+00	0.00E+00		31-16554	17	17	0	1.98E+01	4.12E+00	*	17	1	2.63E+01	0.00E+00	
35-18132	17	9-10036	17	17	0	1.15E+01	5.23E+00	*	31-16554	17	17	0	1.98E+01	4.12E+00	*	17	0	3.29E+01	6.55E+00	*
44-17085	16	45-15100	17	16	0	8.73E+00	2.51E+00	*	11-16325	17	16	0	1.21E+01	8.67E-01	*	16	0	2.45E+01	6.84E+00	*
44-17085	16	45-15100	17	16	0	8.73E+00	2.51E+00	*	9025	17	16	0	1.12E+01	0.00E+00		16	1	1.77E+01	0.00E+00	
60-15022	17	77-14900	17	17	1	8.49E+00	7.76E+00	*	116-13686	17	17	2	1.22E-01	0.00E+00		17	3	9.99E+00	1.35E+00	*
60-15022	17	77-14900	17	17	1	8.49E+00	7.76E+00	*	9025	17	17	2	5.04E-01	0.00E+00		17	3	8.64E+00	0.00E+00	
81-17792	17	82-9902	17	17	0	9.34E+00	6.30E+00	*	123-14786	17	17	0	1.51E+01	1.20E+01	*	17	0	2.74E+01	1.38E+01	*
81-17792	17	9-10036	17	17	2	1.89E-01	0.00E+00		123-14786	17	17	0	1.51E+01	1.20E+01	*	17	3	1.36E+01	0.00E+00	
83-16699	17	106-12299	16	16	2	-3.29E-01	0.00E+00		116-13686	17	17	0	1.35E+01	1.35E+01	*	17	3	1.11E+01	0.00E+00	
83-16699	17	5-13064	17	17	0	1.13E+01	1.03E+01	*	116-13686	17	17	0	1.35E+01	1.35E+01	*	17	1	2.44E+01	1.33E+01	*
6612	17	127-13474	16	16	1	8.15E+00	1.12E+00	*	116-13686	17	17	0	1.34E+01	1.33E+01	*	17	4	9.15E+00	0.00E+00	
6612	17	77-14900	17	17	1	7.03E+00	0.00E+00		116-13686	17	17	0	1.34E+01	1.33E+01	*	17	3	1.17E+01	2.53E+00	*
9028	17	89-16600	17	17	0	1.61E+01	7.54E+00	*	11-16325	17	17	2	6.99E-01	0.00E+00		17	2	1.95E+01	0.00E+00	
9028	17	89-16600	17	17	0	1.61E+01	7.54E+00	*	9025	17	17	0	8.11E+00	6.58E+00	*	17	0	2.78E+01	8.35E+00	*

