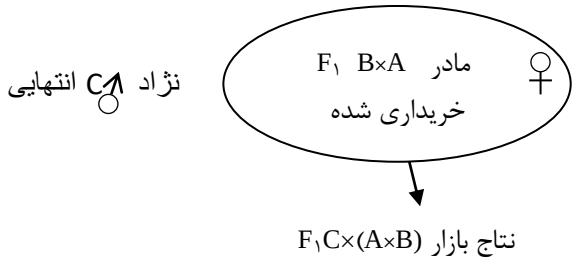
سامانه‌های نر انتهایی Terminal sire crossbreeding systems

سامانه‌های آمیخته گری نر انتهایی، سامانه‌هایی هستند که در آنها ماده‌های نژاد مادری (ماده‌های خالص یا آمیخته که در صفات مادری مانند میزان آبستنی، تعداد نتاج، تولید شیر و قابلیت مادری برتر هستند) با نرهای نژاد پدری (نرهایی که در صفات پدری مانند میزان رشد و بازده لاشه برتر هستند) جفت‌گیری می‌کنند تا نتاج حاصل به طور ویژه ای بازارپسند باشند. ماده های حاصل از این سامانه به عنوان جایگزین نگهداری نشده و به صورت حیوانات کشتاری فروخته می‌شوند. این سامانه‌ها مقادیر بسیاری برتری آمیخته‌گری ایجاد می کنند.



نمایش ۱- شماتیک یک سامانه آمیخته‌گری انتهایی با استفاده از جایگزین‌های خریداری‌شده

سامانه‌های انتهایی ایستا Static terminal system

شکل کلاسیک سامانه آمیخته‌گری نر انتهایی را **سامانه انتهایی ایستا** می‌نامند. این سامانه‌ها «ایستا» هستند به مفهومی‌که ترکیبی نسبی نژاد با شرکت آن در سامانه‌های چرخشی در طی زمان تغییر نمی‌کند. درسامانه‌های استاتیک، ماده های جایگزین یا خریداری شده یا از جوامع خالص جداگانه درون سامانه تأمین می‌شوند. مثال هایی از سامانه‌های انتهایی استاتیک سه نژادی در شکل‌های ۱ و ۲ ترسیم شده است.

شکل ۱، یک سامانه ساده را نشان می‌دهد که در آن ماده های جایگزین $F_1A\times B$ خریداری شدند. این ماده ها برای ایجاد فرزندان $F_1C\times(A\times B)$ مطلوب برای بازار با نرهای انتهایی نژاد C جفت‌گیری می‌کنند.

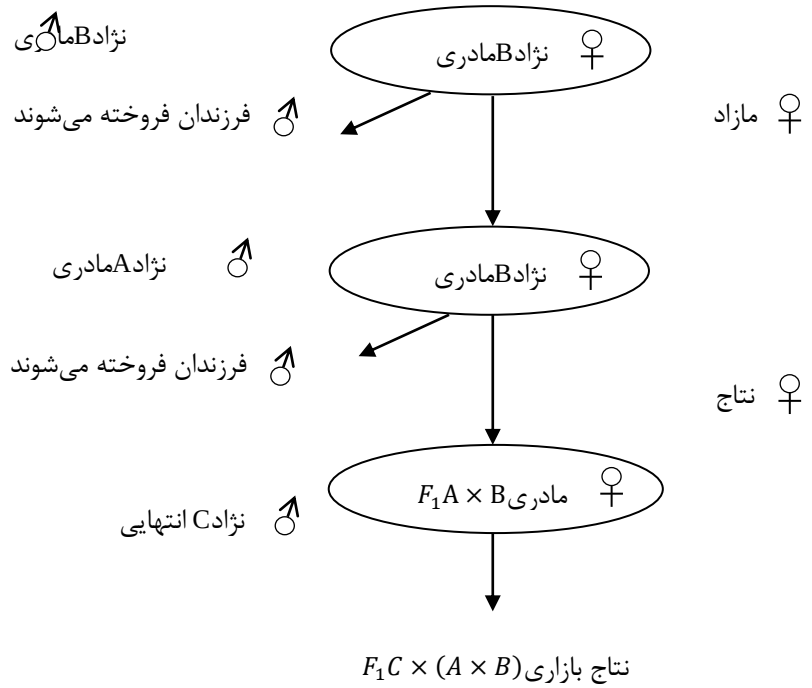
شکل ۲، یک سامانه انتهایی ایستا را نشان می‌دهد که در آن ماده های جایگزین در جمعیت جداگانه‌ای درون سامانه تولید می‌شوند. این سامانه پیچیده‌تر جمعیتی از حیوانات خالص نژاد B را دربرمی‌گیرد. ماده های مازاد این جمعیت برای ایجاد ماده های جایگزین $F_1A\times B$ با نرهای نژاد A جفت گیری می‌کنند. سپس جایگزین های F_1 با نرهای انتهایی C جفت گیری می‌کنند تا نتاج مناسب بازار $F_1C\times(A\times B)$ را ایجاد کنند. سامانه‌های انتهایی استاتیک در پرورش جوجه گوشتی متداول هستند. اکثر جوجه های گوشتی که امروزه تولید می‌شوند حاصل تلاقی نرهای کورنیش با ماده هایی هستند که خودشان تلاقی های سویه های مختلف

پلیموث راک می‌باشند. در شکل ۲، نرها و ماده های نژاد B، که در ویژگی های مادری قوی هستند، با هم تلاقی داده می شوند و نتاج ماده حاصل با نرهای نژاد A، تلاقی داده می شوند. در هر مورد نتاج نر فروخته می شوند. در نهایت ماده های آمیخته AB با نرهای نژاد C تلاقی داده می شوند و فرزندان آمیخته حاصل به بازار عرضه می شوند.

ویژگی‌های سامانه‌های انتهایی ایستا

برتری آمیخته‌گری. سامانه‌های انتهایی ثابت برتری آمیخته‌گری زیادی ایجاد می‌کنند. درحقیقت، سامانه‌هایی که جایگزین های خریداری شده را استفاده می‌کنند، ۱۰۰ درصد برتری آمیخته‌گری انفرادی و مادری F_1 را ایجاد می‌کنند. اگر نرهای F_1 استفاده شوند، این سامانه‌ها ۱۰۰٪ برتری آمیخته‌گری پدری F_1 را نیز ایجاد می‌کنند. سامانه‌های انتهایی ایستا که خودشان جایگزین ها را تولید می‌کنند، ۱۰۰ درصد برتری آمیخته‌گری F_1 را در تلاقی انتهایی حقیقی بوجود می‌آورند. اگر جوامع خالص در این سامانه وارد شوند، درصد برتری F_1 در کل سامانه به طور قابل توجهی کمتر از ۱۰۰٪ است.

تکمیل کنندگی نژادی. هدف اصلی سامانه‌های تلاقی‌گری انتهایی ایجاد تکمیل کنندگی نژادی نر × ماده است، و این سامانه‌ها به خوبی از عهده این کار برمی‌آیند. در سامانه‌های انتهایی که ماده های خریداری شده را استفاده می‌کنند، هر فرزند از تکمیل کنندگی نر × ماده بهره می‌برد. در سامانه‌های استاتیک که جایگزین ها را خودشان تولید می‌کنند، نتاج انتهایی از مکمل نژادی نر × ماده و نتاج مادری F_1 نیز تا حدودی از آن بهره می‌برند، ولی نتاج خالص اصلاً از آن بهره‌ای نمی‌برند.



نتاج بازاری$F_1C \times (A \times B)$

شکل ۲- مثالی تصویری از یک سامانه آمیخته‌گری انتهایی استاتیک که در آن ماده های جایگزین در جمعیتی مجزا، درون سامانه ایجاد می‌شوند.

تداوم عملکرد. در سامانه‌های انتهایی استاتیک، ترکیب نژادی نتاج انتهایی ثابت است. بنابراین باید تداوم داشته باشند. اگر ماده‌های جایگزین خریداری شوند، تمام نتاج از سامانه نر انتهایی ایجاد شوند و عملکرد نتاج باید خوب باشد. اگر ماده‌ها از یک منبع مطمئن تأمین شوند تداوم عملکردشان باید خوب باشد. اگر ماده‌های جایگزین پرورش یابند چندین نوع فرزند ایجاد می‌شود: خالص‌ها، F_1 های مادری و انتهایی‌ها. هرنوع ممکن است کاملاً متفاوت از انواع دیگر باشد اما هر نوع باید یکنواخت باشد.

ملاحظات جایگزینی. مشکل‌ترین جنبه سامانه‌های انتهایی ایستا بدست آوردن ماده های جایگزین است. خریدن جایگزین ها ساده ترین راه حل است، ولی ممکن است کیفیت جایگزین های حاصل از خود سامانه را نداشته باشند یا، اگر موجود باشد، بسیار گران قیمت خواهند. بسیاری از پرورش دهندگان اعتقاد دارند که جایگزین ها را باید خودشان پرورش دهند. آنها می‌خواهند جمعیت ماده‌ها نتیجه تصمیم‌های پرورشی خودشان باشد. این شیوه بین پرورش دهندگان گاو و به مقدار کمتری بین پرورش دهندگان خوک مرسوم است. پرورش جایگزینها راه حلی برای خرید آنهاست. ولی بابت برتری آمیخته‌گری در سامانه‌های گسترده، تکمیل‌کنندگی نژادی و سادگی باید هزینه‌هایی پرداخت.

سادگی. از دیدگاه مدیریتی سامانه انتهایی استاتیک که از ماده‌های خریداری شده استفاده می‌کند بسیار ساده است و فقط به یک مکان پرورش نیاز خواهد داشت. این سامانه در جوامع بزرگ و کوچک، حتی در جوامعی که فقط از یک مولد نر استفاده می‌کنند به خوبی کار می‌کند. سامانه‌های استاتیک که جایگزین‌های خود را تأمین می‌کنند ضرورتاً به دلیل نگهداری همزمان چند جمعیت متفاوت پیچیده هستند. این سامانه‌ها فقط برای تشکیلات تجاری در مقیاس بزرگ عملی هستند.

صحت پیش بینی ژنتیکی. همانند هر سامانه تلاقی‌گری، صحت پیش‌بینی ژنتیکی در سامانه‌های انتهایی استاتیک به صحت پیش بینی در نرها بستگی دارد. از آنجا که EPDهای صحیح برای افراد نژاد خالص متداول تر از آمیخته‌هاست، سامانه‌های انتهایی استاتیک که نرهای نژاد خالص را بکار می‌برند احتمالاً از صحت پیش بینی بالاتری بهره می‌برد نسب به سامانه‌هایی که از نرهای دورگ استفاده می‌کنند.

سامانه‌های چرخشی/ انتهایی Rotational/terminal system

سامانه‌های چرخشی/ انتهایی برای حل مشکل تأمین جایگزین در سامانه‌های انتهایی استاتیک طراحی شدند. این سامانه‌ها ترکیبی از یک سامانه چرخشی مادری برای ایجاد ماده‌های جایگزین و یک سامانه نر انتهایی برای ایجاد نتاج بازارپسند هستند. قسمت چرخشی سامانه می‌تواند هر نوع سامانه‌ی چرخشی باشد: یک سامانه چرخشی در زمان، یک سامانه چرخشی بااستفاده از نرهای خالص یا یک سامانه چرخشی بااستفاده از نرهای آمیخته. در هر صورت، قسمتی از گله با نرهای مادری برای ایجاد جایگزین ها جفت گیری می کنند و باقی مانده ماده ها برای ایجاد نتاج بازارپسند با نرهای انتهایی جفت‌گیری می‌کنند. اگر احتمال داده شود که نرهای انتهایی در ماده‌های جوان سخت زایی ایجاد می‌کنند، این ماده‌ها نوعاً با نرهای مادری جفت‌گیری می‌کنند، و ماده‌های مسن تر با نرهای انتهایی جفت‌گیری خواهند کرد.

ویژگی‌های سامانه چرخشی/ انتهایی

ویژگی‌های سامانه‌های چرخشی/ انتهایی ترکیبی از ویژگی قسمت‌های چرخشی و انتهایی هستند. در این سامانه‌ها ویژگی تکمیل کنندگی نژادی از دست رفته در سامانه‌های چرخشی خالص و ویژگی جایگزین‌های آمیخته از دست رفته در سامانه‌های انتهایی خالص تأمین می‌شوند.

برتری آمیخته‌گری، تکمیل‌کنندگی نژادی و ملاحظات جایگزینی

سامانه‌های چرخشی/ انتهایی برتری آمیخته‌گری و تکمیل کنندگی بیشتری از سامانه‌های چرخشی متناظر خود ایجاد می‌کنند ولی برتری آمیخته‌گری و تکمیل کنندگی در آن‌ها کمتر از سامانه‌های استاتیک است. این سامانه‌ها از لحاظ تأمین جایگزین‌ها نیز در حد وسط هستند. حتی اگرچه این سامانه‌ها ماده‌های جایگزین خودشان را ایجاد می‌کنند ولی به دلیل اینکه فقط بخشی از جمعیت برای ایجاد جایگزین‌های ایجاد کننده نرها جفت گیری می‌کند فرایند دشوار می‌شود. در مقایسه با سامانه‌های چرخشی خالص، نسبت بیشتری از ماده های مادری جوان را باید به عنوان جایگزین نگه داشت که باعث کمترشدن تفاوت انتخاب ماده‌ها می‌شود.

تداوم عملکرد و صحت پیش‌بینی ژنتیکی، سامانه‌های چرخشی/ انتهایی دو نوع حیوان را ایجاد می‌کنند، مادری و انتهایی، که کاملاً از یکدیگر متماییز هستند. نتاج نهایی یکنواخت هستند. یکنواختی در نتاج مادری به این بستگی دارد که نژادهای شرکت کننده در چرخش تا چه حد مناسب باشند. مطابق معمول، صحت پیش بینی ژنتیکی به صحت پیش‌بینی های مربوط به نرهای مورد استفاده بستگی دارد.

سادگی. وقتی دو سامانه آمیخته‌گری ترکیب شوند می‌توان انتظار داشت که ترکیب پیچیده‌تر از اجزای تشکیل دهنده باشد. سامانه‌های انتهایی/ چرخشی استثناء نیستند. علاوه بر ملزومات سامانه‌های چرخشی برای انجام جفت گیری های انتهایی به یک مکان اضافی نیاز است. با استفاده از یک سامانه چرخشی ساده تر- مثلاً یک سامانه چرخش در زمان- یا گاهی (اوقات) بااستفاده از تلقیح مصنوعی و کاهش تعداد مکان های جفت گیری می‌توان کل سامانه را ساده کرد.

حیوانات ترکیبی Composite animals

مانند سگ مارک تواین، **حیوانات ترکیبی** که گاهی اوقات **سنتتیک** (Synthetics) نامیده می‌شوند، دورگ هستند. حداقل دو نژاد و اغلب بیشتر را درخود دارند. آنچه که حیوانات ترکیبی را از آمیخته ها متمایز می‌کند صرفاً ترکیب ژنتیکی آنها نیست، بلکه بیشتر نحوه استفاده از آنها می‌باشد. در صورت جفت گیری حیوانات ترکیبی با نژاد خودشان، بدون اینکه تلاقی‌گری انجام شده باشد، مقداری برتری آمیخته‌گری ایجاد می‌گردد.

در جوامع حیوانی به این حیوانات، **نژادهای ترکیبی** (Composite breeds) است. نژاد ترکیبی نژادی است که از دو یا چند نژاد ایجاد شده و برای بهره بردن از برتری آمیخته‌گری بدون تلاقی با نژادهای دیگر طراحی شده است.

شکل ۳- گوسفند پلی پی. این نژاد ترکیبی، که برای اهداف تولید گوشت و پشم معروف است، ترکیبی از رامبویه، دورست، فین شیپ، کوریدال و لینکن می‌باشد.

پاسخ همبسته به انتخاب

انتخاب برای یک صفت به ندرت، فقط بر همان صفت تاثیر می‌گذارد. معمولا بر صفات دیگر نیز تاثیر دارد. تغییر ژنتیکی در یک یا چند صفت در اثر انتخاب صفت دیگر، به اصطلاح پاسخ همبسته به انتخاب (Correlated response to selection) نامیده می‌شود.

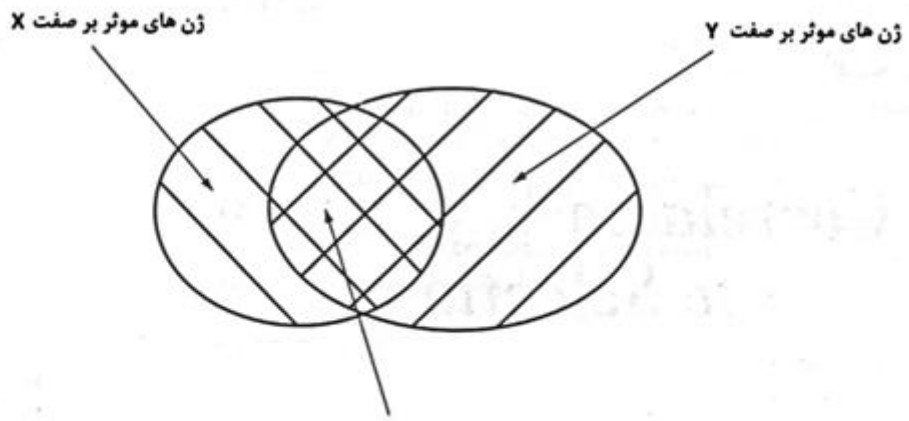
چه عواملی سبب پاسخ همبسته می‌شوند؟

پاسخ همبسته به انتخاب احتمالا ناشی از برخی ساز و کارهای ژنتیکی است که پیوستگی (linkage) یکی از آنها می‌باشد. اگر ژن‌های عمده موثّر بر دو صفت با هم پیوستگی نزدیکی داشته باشند، تمایل دارند با هم به ارث برسند. انتخاب برای یک صفت، فراوانی آلل‌های موثّر بر آن صفت و (در عین حال) فراوانی آلل‌های پیوسته را نیز افزایش می‌دهد. با این وجود، ژن‌های پیوسته همیشه با هم باقی نمی‌مانند. دیر یا زود همبستگی در اثر نوترکیبی (Recombination) از بین می‌رود، از این رو پیوستگی تنها یک عامل موقت برای پاسخ همبسته به انتخاب است.

عامل اصلی پاسخ همبسته، پلیوتروپی (pleiotropy) است. اگر ژنی بر بیش از یک صفت تاثیر بگذارد، به اصطلاح اثرات پلیوتروپیک دارد. ژن هالوتان (Halothane) در خوک مثال ژن عمده دارای اثرات پلیوتروپیک است. این ژن سبب افزایش میزان گوشت لخم و راندمان خوراک می‌شود، اما صفات تعداد توله در هر زایش، نرخ زنده‌ماندن و کیفیت گوشت را کاهش می‌دهد. ژن HYPP در اسب نیز اثرات پلیوتروپیک دارد، یعنی سبب افزایش میزان عضله و کاهش نرخ زنده ماندن می‌شود.

صفات چند ژنی همبسته احتمالا تحت تاثیر ژن‌های زیادی با اثرات پلیوتروپیک باشند. ژن‌های موثّر بر دو صفت چند ژنی X و Y به صورت نمودار در شکل ۴ نشان داده شده اند. بیشتر ژن‌ها تنها بر روی یک صفت اثر دارند، اما تعداد قابل توجهی از ژن‌ها نیز بر هر دو صفت اثر می‌گذارند.

صفات رشد، مثال کلاسیک پلیوتروپی هستند. در تعدادی از گونه‌ها نرخ رشد حیوانات را در زمان‌های مختلف، به طور معمول در زمان تولد، شیرگیری (در پستانداران) و غالبا در سنین بالاتر، اندازه‌گیری می-کنند. برخی از ژن‌ها تنها در مرحله خاصی از زندگی حیوان و برخی نیز در همه مراحل زندگی (مانند ژن-های رشد) بر نرخ رشد تاثیر دارند. این ژن‌ها بر دو یا چندین صفت رشد اثرات پلیوتروپیک دارند، به همین دلیل، این صفات از لحاظ ژنتیکی همبسته هستند و انتخاب برای یک صفت باعث پاسخ همبسته در صفات دیگر می‌شود.



ژن‌های پلیوتروپیک موثّر بر هر دو صفت X و Y

شکل ۴- نمایش شماتیک پلیوتروپی. برخی ژن‌ها فقط بر صفت X و برخی نیز فقط بر صفت Y موثّرند. ژن-های پلیوتروپیک موثّر بر هر دو صفت X و Y باعث همبستگی ژنتیکی بین دو صفت می‌شوند.

همبستگی‌های ژنتیکی، فنوتیپی و محیطی

از لحاظ آماری، پاسخ همبسته به انتخاب ناشی از همبستگی ژنتیکی بین صفات است. همبستگی ژنتیکی (r_{BV_X,BV_Y}) به عنوان میزان قوی بودن ارتباط (پایدار و قابل اعتماد) بین ارزش‌های اصلاحی یک صفت با صفت دیگر است. این تعریف خوبی است اما می‌توان برخی از مفاهیم بیولوژیکی را به آن اضافه نمود. همبستگی ژنتیکی، اهمیت نسبی اثرهای پلیوتروپیک (و به هر حال، اثرهای موقت پیوستگی) را اندازه گیری می‌کند.

به عنوان مثال، همبستگی ژنتیکی بین طول زایده زورقی یا Keel (به عنوان معیار اسکلتی) و وزن بدن در بوقلمون حدود ۰/۵ برآورد شده است. این همبستگی نسبتا بالا نباید تعجب آور باشد، چون هر دو صفت معیاری از اندازه بدن هستند. ژن‌هایی که باعث افزایش طول کیل می‌شوند احتمالا اثرهای پلیوتروپیک مشابهی بر اندازه بدن دارند و برعکس. در مقابل، همبستگی ژنتیکی بین وزن بدن و تعداد تخم در بوقلمون بسیار پایین‌تر (تقریبا ۰/۰۵) است. این صفات با هم بسیار متفاوت هستند و نمی‌توان انتظار داشت که ژن-های زیادی هر دو صفت را تحت تاثیر قرار دهند. انتخاب برای وزن تولد بر تعداد تخم اثر کمی دارد.

نمونه‌ای از همبستگی منفی، همبستگی ژنتیکی بین تولید شیر و درصد چربی شیر در گاو شیری است که مقدار آن ۰/۳- برآورد شده است. این همبستگی کاملا معقول است، زیرا ژن‌های افزایش تولید شیر، میزان آب آن را نیز افزایش می‌دهند، در نتیجه باعث کاهش چربی شیر می‌شود. انتخاب برای افزایش تولید شیر باعث کاهش درصد چربی شیر خواهد شد.

مبستگی ژنتیکی اغلب با همبستگی فنوتیپی اشتباه گرفته می‌شود و این اشتباه به درک نادرستی از همبستگی ژنتیکی منجر می‌شود. این دو همبستگی مشابه هم نیستند. همبستگی فنوتیپی دو صفت (r_{P_X,P_Y}) نشان دهنده میزان قوی بودن ارتباط (پایدار و قابل اعتماد) بین عملکرد یک صفت و صفت دیگر در جمعیت است.

اغلب اوقات، همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی بین دو صفت مشابه می‌باشد، اما همیشه این طور نیست. نمونه‌ای از برآورد همبستگی ژنتیکی بین وزن تولد و وزن یک سالگی در گاو گوشتی ۰/۷ می‌باشد. هر دو از جمله صفات رشد هستند، بنابراین تعدادی از ژن‌های موثّر بر افزایش سرعت رشد در مراحل جنینی (وزن تولد سنگین‌تر) باعث افزایش سرعت رشد در مراحل بعد از تولد (وزن یک سالگی سنگین تر) نیز خواهند شد. اما نمونه‌ای از برآورد همبستگی‌های فنوتیپی بین این صفت ۰/۳۵ است. گوساله‌های با وزن تولد سنگین‌تر، وزن یک سالگی سنگین‌تری نیز دارند اما ارتباط فنوتیپی بین این صفات به اندازه ارتباط ژنتیکی این صفات قوی نیست.

همچنین همبستگی ژنتیکی بین وزن شیرگیری و افزایش وزن پس از شیرگیری در گاو گوشتی تقریبا ۰/۳ می‌باشد. این صفات نیز از جمله صفات رشد هستند، بنابراین انتظار می‌رود پلیوتروپی وجود داشته باشد. با وجود این، همبستگی فنوتیپی این صفات حدود ۰/۱ است. گوساله‌های با وزن شیرگیری بالاتر، رشد بعد از شیرگیری سریع‌تری دارند. اما همانند وزن تولد و وزن یک سالگی، ارتباط فنوتیپی بین این صفات به اندازه ارتباط ژنتیکی قوی نیست. چه عواملی باعث ایجاد این تفاوت‌ها می‌شود؟

برای پاسخ به این سوال می‌بایست مفهوم همبستگی محیطی را درک نماییم. همبستگی محیطی (r_{E_X,E_Y}) نشان دهنده میزان قوی بودن ارتباط (ثابت و قابل اعتماد) بین اثرهای محیطی یک صفت با اثرهای محیطی صفات دیگر است. همبستگی محیطی بین صفت وزن تولد و وزن یک سالگی در گاو گوشتی تقریبا ۰/۱ است. این امر نشان می‌دهد که ارتباط بین شرایط محیطی قبل و بعد از تولد مثبت است، اما این ارتباط بسیار کم می باشد.

همان طور که ارزش‌های فنوتیپی از ارزش‌های اصلاحی و اثرهای محیطی تشکیل شده‌اند، ارتباط فنوتیپی بین صفات نیز تابعی از روابط ژنتیکی و محیطی است. همبستگی ژنتیکی قوی بین وزن تولد و وزن یک سالگی (۰/۷) با همبستگی محیطی ضعیف بین این صفات (۰/۱) ترکیب شده و روی هم رفته، منجر به همبستگی فنوتیپی مثبت اما متوسط (۰/۳۵) می‌شود.

وضعیت مشابهی در ارتباط با وزن شیرگیری و افزایش وزن بعد از شیرگیری در گاو گوشتی وجود دارد. همبستگی محیطی بین این صفات اغلب منفی (هر چند بسیار ناچیز) بوده و به طور معمول در حدود ۰/۰۵-

است. محیط بهتر از میانگین برای وزن شیرگیری با محیط بدتر از میانگین برای افزایش وزن بعد از شیرگیری ارتباط دارد (اگر چه این ارتباط ضعیف می‌باشد). زیرا گوساله‌های قرار گرفته در معرض محیط پیش از شیرگیری بهتر (یعنی مادرانی با تولید شیر بالاتر)، در شروع دوره پس از شیرگیری چاق‌تر خواهند بود. چاق شدن در حقیقت به عنوان یک مانع محیطی برای نرخ رشد پس از شیرگیری است. گوساله‌های لاغرتر اغلب به علت پدیده افزایش وزن جبرانی (Compensatory gain) ، رشد سریع‌تری دارند. همبستگی ژنتیکی مثبت (+۰/۳) و همبستگی محیطی منفی (-۰/۰۵) بین وزن شیرگیری و رشد پس از شیرگیری، در مجموع باعث ایجاد همبستگی فنوتیپی مثبت اما ضعیف می‌شود (+۰/۱).

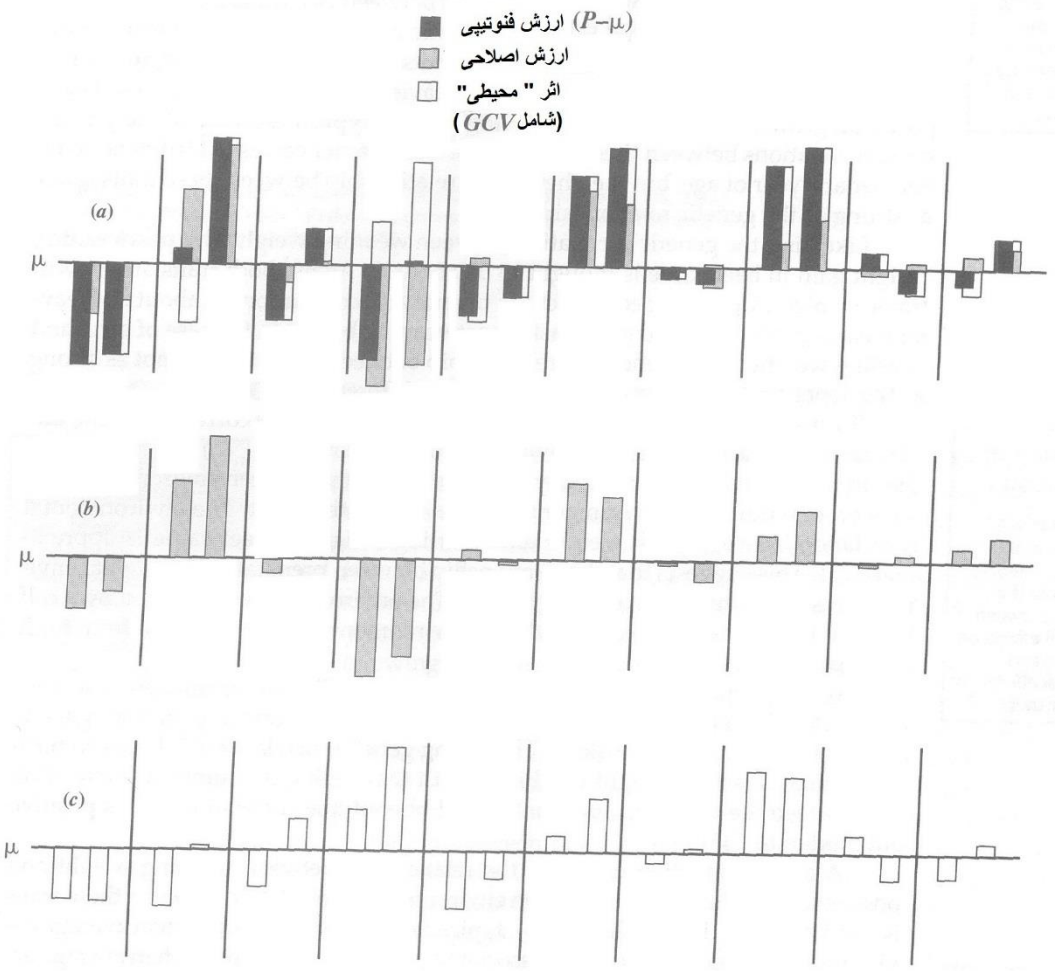
بهتر است روابط ژنتیکی و محیطی بین دو صفت به صورت تابعی از روابط بین آنها در نظر گرفته شود. ارتباط مشاهده شده بین صفات که به صورت همبستگی فنوتیپی اندازه گیری شده، در حقیقت در نتیجه روابط ژنتیکی و محیطی حقیقی بین صفات است. (جالب توجه است که بیشتر اوقات، همبستگی فنوتیپی، حد وسط همبستگی ژنتیکی و محیطی است، اما به ندرت ممکن است که به صورت میانگین ساده این دو همبستگی باشد، بلکه همیشه در حد وسط این دو همبستگی قرار دارد.)

مثالی در شکل ۵ ارائه شده است. برای ترسیم این شکل، ارزش‌های اصلاحی و اثرهای محیطی فرضی برای صفات X و Y از نمونه ۱۰ تایی از یک جمعیت بزرگ تعیین شده است. (در این مورد اثرهای محیطی جزء ارزش‌های ترکیبی ژن هستند). داده‌ها با استفاده از همبستگی ژنتیکی (r_{BV_X,BV_Y}) ۰/۸ و همبستگی محیطی (r_{E_X,E_Y}) ۰/۲ تولید شده‌اند. همبستگی فنوتیپی حاصل (r_{P_X,P_Y}=۰/۴۴)، در نمودار بالایی (a) به صورت ستون‌های سیاه نشان داده شده است. هر جفت رکورد نشان‌دهنده عملکرد یک حیوان برای صفات X و Y است (برای وضوح مطلب، هر جفت رکورد با خطوط عمودی از هم جدا شده‌اند)، و سهم ارزش‌های اصلاحی و اثرهای محیطی در زمینه نشان داده شده است.

همبستگی فنوتیپی بین صفات X و Y در شکل ۵ به وضوح مثبت است. حیواناتی با عملکرد بالاتر از میانگین در صفت X، اغلب در صفت Y عملکرد بالاتر از میانگین دارند و حیواناتی با عملکرد پایین‌تر از میانگین در صفت X، اغلب در صفت Y عملکرد پایین‌تر از میانگین دارند، اما ارتباط فنوتیپی کامل نیست. این قانون نیز استثناهایی دارد.

روابط ژنتیکی و محیطی بین صفات X و Y در دو نمودار بعدی (b) و (c) ارائه شده است. ارزش‌های اصلاحی و اثرهای محیطی به ترتیب در نمودارهای (b) و (c) نشان داده شده اند و همان مقادیر موجود در زمینه نمودار بالایی می‌باشند. برای درک ساده‌تر مطلب، همبستگی‌های ژنتیکی و محیطی از هم جدا شده‌اند. به میزان همبستگی ژنتیکی بسیار بالا در شکل b توجه کنید (r_{BV_X,BV_Y}=۰/۸). نه تنها ارزش اصلاحی مثبت

برای صفت X با ارزش اصلاحی مثبت برای صفت Y همراه است، بلکه برای هر حیوان هر دو ارزش های اصلاحی اغلب از نظر اندازه مشابه می‌باشند. همبستگی محیطی رسم شده در نمودار (c) نیز مثبت به نظر می‌رسد، اما همانند همبستگی ژنتیکی با هم مطابقت ندارند.



شکل ۵ - نمایش نموداری همبستگی فنوتیپی (r_{P_X,P_Y}=۰/۴۴) بین دو صفت در نمونه ۱۰ تایی حاصل از یک جمعیت بزرگ (a). هر جفت رکورد، به ترتیب عملکرد حیوان برای صفات X و Y را نشان می‌دهند. (برای وضوح مطلب، هر جفت رکورد با خطوط عمودی از هم جدا شده‌اند.) سهم ارزش‌های اصلاحی و اثرهای محیطی (GCV+E) در زمینه نشان داده شده است. همبستگی ژنتیکی (r_{BV_X,BV_Y}=۰/۸) و محیطی (r_{E_X,E_Y}=۰/۲) بین صفات X و Y برای همان ۱۰ حیوان به ترتیب در قسمت (b) و (c) ارائه شده است.

با مطالعه دقیق شکل ۵ می‌توان به چگونگی تاثیر روابط ژنتیکی و محیطی بین صفات X و Y بر ارتباط مشاهده شده (فنوتیپی) بین آنها پی برد. همبستگی ژنتیکی قوی و مثبت، تاحدودی توسط همبستگی مثبت و ضعیف محیطی خنثی می‌شود و در نتیجه همبستگی فنوتیپی مثبت و متوسطی حاصل می‌گردد.

جنبهٔ دیگری از همبستگی بین صفات

میزان همبستگی بین صفات ثابت نیست و از جمعیتی به جمعیت دیگر متفاوت است. به عنوان مثال، میزان همبستگی فنوتیپی بین تولید شیر و باروری در گاو گوشتی ممکن است از نژادی به نژاد دیگر (حتی در صورت تشابه شرایط محیطی) نیز کاملا متفاوت باشد، زیرا دو نژاد متعلق به جمعیت‌های ژنتیکی متفاوتی هستند. پتانسیل ژنتیکی تولید شیر و باروری ممکن است برای هر نژاد مشابه نباشد. در هر مورد، تفاوت فراوانی ژن‌های موثّر بر صفات منجر به روابط ژنتیکی متفاوت می‌شود.

محیط نیز می‌تواند بر همبستگی‌ها موثّر باشد. در شرایط تغذیه مناسب، همبستگی فنوتیپی بین تولید شیر و باروری در گاو گوشتی نزدیک به صفر یا شاید مقداری مثبت باشد. باروری گاوهای پر شیر مشابه گاوهای کم شیر است. اما در شرایط تغذیه‌ای نامناسب، این همبستگی به طور یقین منفی است. شرایط بدنی گاوهای پرتولید و لاغر باعث دشوار بودن تولید مثل منظم در آنها می‌شود.

سوّمین مقولهٔ دسته بندی از لحاظ مطلوب یا نامطلوب بودن آنهاست که با دسته بندی بر اساس علامت متفاوت است. همبستگی مثبت یا منفی می‌تواند مطلوب یا نامطلوب باشد. به عنوان مثال، همبستگی‌های فنوتیپی مثبت بین وزن شیرگیری و وزن پشم ناشور در گوسفند به عنوان همبستگی مطلوب در نظر گرفته می‌شود، برّه‌هایی که سرعت رشد بالاتری دارند علاوه بر تولید گوشت بیشتر، مقدار پشم ناشور بیشتری نیز تولید می‌کنند. برعکس همبستگی مثبت ژنتیکی و فنوتیپی بین وزن تولد و وزن یک سالگی در گاو گوشتی نامطلوب است. وزن یکسالگی بیشتر به طور معمول مطلوب است اما وزن تولد بالاتر به دلیل ایجاد مشکلات سخت زایی نامطلوب می‌باشد.

عوامل موثّر در پاسخ همبسته

فرض کنید پرورش دهنده‌ای فقط برای صفت X انتخاب می‌کند. عوامل موثّر در پاسخ همبسته در صفت Y کدامند؟ نخستین عامل مورد نظر همان مواردی هستند که اغلب اوقات به آنها عوامل موثّر در پاسخ مستقیم به انتخابDirect response to selection گفته می‌شود، در حالت انتخاب برای صفت X، شامل صحت پیش بینی ارزش اصلاحی برای صفت X، شدّت انتخاب و فاصلهٔ نسل است (همچنین تنوّع ژنتیکی صفت X بر پاسخ مستقیم به انتخاب برای این صفت موثّر است، اما به صورت مستقیم بر پاسخ صفت Y تاثیری ندارد). این عوامل نرخ تغییر ژنتیکی صفت X (صفت مورد انتخاب) و در نتیجه نرخ تغییر ژنتیکی صفات همبسته را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

به عنوان مثال، فرض کنید خوک‌ها را بر اساس صفت زمان رسیدن به وزن ۲۳۰ پوند (به عنوان شاخصی از نرخ رشد) انتخاب می‌کنیم. به دلیل وجود همبستگی ژنتیکی قوی و مطلوب بین این صفت و ضریب تبدیل

خوراک (حدود ۰/۷)، انتظار می‌رود که بهبود نرخ رشد، منجر به بهبود ضریب تبدیل خوراک شود. اما اگر به هر دلیلی، صحت و یا شدّت انتخاب صفت زمان رسیدن به وزن ۲۳۰ پوند پایین باشد، یا فاصلهٔ نسلی طولانی شود و تغییر نرخ رشد جمعیت پایین است و منجر به کند شدن تغییر نرخ ضریب تبدیل خوراک خواهد شد.

عوامل دیگر موثّر در پاسخ همبسته صفت Y، همبستگی ژنتیکی بین صفات X و Y و تنوّع ژنتیکی صفت Y است. بدیهی است که میزان ارتباط ژنتیکی بین صفات، مهم است. با توجه به همبستگی ژنتیکی قوی بین صفات سرعت رشد و ضریب تبدیل خوراک در خوک، انتظار می‌رود در صورت انتخاب خوک‌ها برای نرخ رشد، ضریب تبدیل خوراک آنها نیز به این انتخاب پاسخ دهد، زیرا همبستگی ژنتیکی بین این صفات بسیار بالاست. برعکس، انتظار نمی‌رود در اثر انتخاب برای طول کیل در بوقلمون‌ها تعداد تخم تغییر کند، زیرا همبستگی بین این دو صفت بسیار پایین (تقریبا ۰/۰۵) است.

تنوّع ژنتیکی در صفات همبسته نیز مهم است. در صورت پایین بودن تنوّع ژنتیکی صفت Y، حتی اگر انتخاب برای صفت X بسیار موثّر و همبستگی ژنتیکی صفات X و Y نیز بسیار بالا باشد، صفت Y تغییر چندانی نمی‌کند.

فرمول عمومی پاسخ همبسته به انتخاب

فرمول عمومی پاسخ هبسته صفت Y در اثر انتخاب صفت X به صورت زیر است:

$$\Delta_{BV}/_t = \frac{r_{BV_X,BV_Y} r_{BV_X,\widehat{BV}_X} i_X \sigma_{BV_Y}}{L}$$

در این فرمول $\Delta_{BV}/_t$: نرخ تغییر ژنتیکی صفت Y در واحد زمان (t) در اثر انتخاب برای صفت X

r_{BV_X,BV_Y}: همبستگی ژنتیکی بین صفات X و Y

$r_{BV_X,\widehat{BV}_X}$: صحت انتخاب صفت X

i_X: شدّت انتخاب صفت X

σ_{BV_Y}: تنوّع ژنتیکی صفت Y

L: فاصلهٔ نسل

اثبات:

فرمول پاسخ همبسته را می‌توان با استفاده از معادلهٔ ساده پیش بینی به دست آورد.

$$\Delta_Y = b_{Y.X}\Delta_X$$

که در این فرمول Δ_Y: نرخ تغییر ژنتیکی در صفت Y در واحد زمان (t) در اثر انتخاب صفت X یا $\Delta_{BV_{Y/X}}/_t$

$b_{Y.X}$: نرخ تغییر صفت Y به ازای یک واحد تغییر در صفت X

Δ_X: پاسخ مستقیم به انتخاب برای صفت X.

ضریب تابعیت ($b_{Y.X}$)، تابعیت ژنتیکی صفت Y بر صفت X است، و می توان آن را به صورت تابعی از همبستگی ژنتیکی بیان کرد:

$$b_{Y.X} = r_{BV_X,BV_Y}\left(\frac{\sigma_{BV_Y}}{\sigma_{BV_X}}\right)$$

و Δ_X برابر است با:

$$\Delta_{BV_X}/_t = \frac{r_{BV_X,\widehat{BV}_X} i_X \sigma_{BV_X}}{L}$$

روی هم رفته:

$$\Delta_{BV_{Y/X}}/_t = r_{BV_X,BV_Y}\left(\frac{\sigma_{BV_Y}}{\sigma_{BV_X}}\right)\left(\frac{r_{BV_X,\widehat{BV}_X} i_X \sigma_{BV_X}}{L}\right)$$
$$= \frac{r_{BV_X,BV_Y} r_{BV_X,\widehat{BV}_X} i_X \sigma_{BV_Y}}{L}$$

مثال

فرض کنید گوسفندان را بر اساس EPD وزن پشم ناشور (GFW) انتخاب می‌کنیم و پاسخ همبسته مربوط به صفت طول استاپل (SL) باشد. فراسنجه‌های ژنتیکی زیر مفروض است:

$$r_{BV_{GFW}BV_{SL}} = ۰/۳۵$$

$$r_{PD_{GFW}\widehat{PD}_{GFW}} = r_{BV_{GFW}\widehat{BV}_{GFW}} = ۰/۸$$

$$r_{GFW} = ۱/۹$$

$$\sigma_{BV_{SL}} = ۰/۳۵ \text{پوند}$$

$$L = ۴ \text{سال}$$

بنابراین:

$$\Delta_{BV_{SL/GFW}}/_t = \frac{r_{BV_{GFW},BV_{SL}} r_{BV_{GFW},\widehat{BV}_{GFW}} i_{GFW} \sigma_{BV_{SL}}}{L}$$
$$= \frac{۰/۳۵\left(۰/۸\right)\left(۱/۹\right)\left(۰/۳۵\right)}{۴}$$

$$L = ۰/۴۷ \text{سال} \text{ اینچ به ازای}$$

پاسخ همبسته به انتخاب فنوتیپی

عوامل موثّر بر پاسخ همبسته به انتخاب در مورد خاصی از انتخاب فنوتیپی، در حقیقت از حالت فرمول عمومی متفاوت نیستند اما تاحدودی می‌توان آنها را به صورت متفاوتی بیان نمود. اگر صفت X به طور دقیق بر اساس عملکرد فنوتیپی آن انتخاب شود می‌توان انتظار داشت که پاسخ همبسته در صفت Y صورت گیرد زیرا تحت تاثیر عوامل موثّر بر پاسخ مستقیم صفت X مانند وراثت پذیری صفت X، شدّت انتخاب و فاصلهٔ

نسل قرار می‌گیرد. (همچنین تنوّع فنوتیپی صفت X بر پاسخ مستقیم به انتخاب برای صفت X موثّر است، اما به طور مستقیم بر پاسخ صفت Y تاثیر ندارد.) عوامل دیگر موثّر بر پاسخ همبسته صفت Y شامل همبستگی ژنتیکی بین صفات X و Y، وراثت پذیری و تنوّع فنوتیپی صفت Y است.

فرمول محاسبهٔ پاسخ همبسته برای انتخاب فنوتیپی

فرمول محاسبهٔ پاسخ همبسته صفت Y در اثر انتخاب فنوتیپی صفت X به صورت زیر است:

$$\Delta_{BV_{Y/X}}/_t = \frac{r_{BV_X,BV_Y} h_X h_Y i_X \sigma_{P_Y}}{L}$$

در این فرمول $\Delta_{BV_{Y/X}}/_t$: نرخ تغییر ژنتیکی در صفت Y در واحد زمان (t) در اثر انتخاب فنوتیپی صفت X

r_{BV_X,BV_Y}: همبستگی ژنتیکی بین صفات X و Y

h_X: ریشهٔ دوم وراثت پذیری صفت X

h_Y: ریشهٔ دوم وراثت پذیری صفت Y

i_X: شدّت انتخاب صفت X

σ_{P_Y}: تنوّع فنوتیپی صفت Y

L: فاصلهٔ نسل

اثبات:

با استفاده از معادلات ساده پیش بینی می‌توان فرمول عمومی پاسخ همبسته را به دست آورد:

$$\Delta_Y = b_{Y.X} \Delta_X$$

که در این فرمول Δ_Y: نرخ تغییر ژنتیکی صفت Y در واحد زمان

$b_{Y.X}$: تغییر در صفت Y به ازای یک واحد تغییر در صفت X

Δ_X: پاسخ مستقیم به انتخاب صفت X

ضریب تابعیت ($b_{Y.X}$) در فرمول بالا، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$b_{Y.X} = r_{BV_X,BV_Y} \left(\frac{\sigma_{BV_Y}}{\sigma_{BV_X}} \right)$$

اما در مورد خاصی از انتخاب فنوتیپی، Δ_X به صورت زیر است:

$$\Delta_{BV_{Y/X}}/_t = \frac{h^2{}_X i_X \sigma_{P_X}}{L}$$

روی هم رفته داریم:

$$\Delta_{BV_{Y/X}}/_t = r_{BV_X,BV_Y} \left(\frac{\sigma_{BV_Y}}{\sigma_{BV_X}} \right) \left(\frac{h_X^2 i_X \sigma_{P_X}}{L} \right)$$

$$= r_{BV_X,BV_Y}\left(\frac{\sigma_{BV_Y}}{\sigma_{BV_X}}\right)\left(\frac{\left(\frac{\sigma^2_{BV_X}}{\sigma^2_{P_X}}\right)i_X\sigma_{P_X}}{L}\right)$$

$$= r_{BV_X,BV_Y}\left(\frac{\sigma_{BV_X}}{\sigma_{P_X}}\right)i_X\sigma_{BV_Y}$$

$$= \frac{r_{BV_X,BV_Y}h_X i_X\sigma_{BV_Y}\left(\frac{\sigma_{P_Y}}{\sigma_{P_Y}}\right)}{L}i_X\sigma_{BV_Y}$$

$$= \frac{r_{BV_X,BV_Y}h_X h_Y i_X\sigma_{P_Y}}{L}$$

مثال

مثال انتخاب وزن پشم ناشور/ طول استاپل (مثال حالت قبل) را -این بار با انتخاب فنوتیپی- در نظر بگیرید. فراسنجه‌های ژنتیکی زیر مفروض است:

$$r_{BV_{GFW}BV_{SL}} = ۰/۳۵$$

$$h^2_{GFW} = ۰/۴$$

$$h^2_{SL} = ۰/۵$$

$$i_{GFW} = ۱/۶$$

$$\sigma_{P_{SL}} = ۰/\text{۵اینچ}$$

$$L = \text{۴سال}$$

بنابراین:

$$\Delta_{BV_{SL/GFW}}/_t = \frac{r_{BV_{GFW},BV_{SL}}h_{GFW}h_{SL}i_{GFW}\sigma_{P_{SL}}}{L}$$

$$= \frac{۰/۳۵\sqrt{۰/۴}\sqrt{۰/۵}\left(۱/۶\right)\left(۰/۵\right)}{۴}$$

$$= ۰/\text{سال۰۳۴ اینچ به ازای}$$

$$/_t = \frac{h^2_X\left(i_{m_X} + i_{f_X}\right)\sigma_{P_X}}{L_m + L_f}$$

انتخاب صفات همبسته

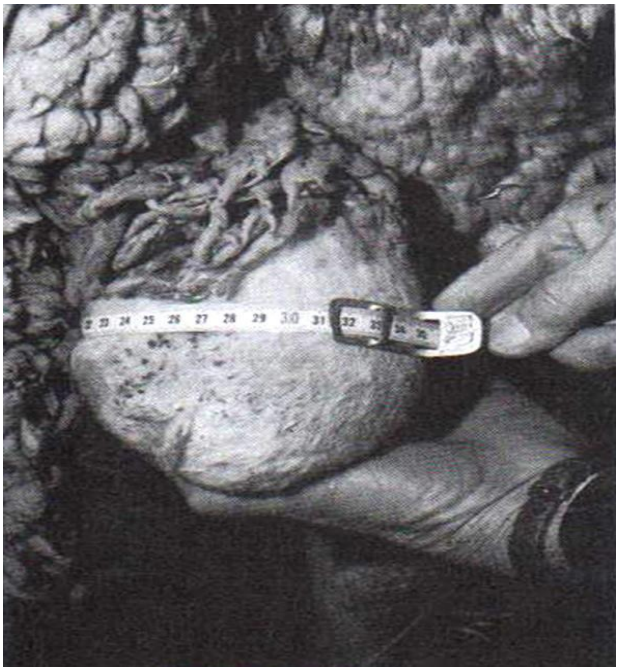
گاهی اوقات بهتر است به جای انتخاب مستقیم یک صفت، از انتخاب صفات همبسته استفاده کنیم -گاهی ممکن است انتخاب غیر مستقیم (Indirect selection) بهتر از انتخاب مستقیم (Direct selection [1] باشد. اندازه گیری برخی از صفات پر هزینه یا مشکل است. ضریب تبدیل خوراک نمونه خوبی از این صفات است. با توجه به این‌که ضریب تبدیل خوراک، نسبت میزان خوراک مصرفی به افزایش وزن است، لذا برای تعیین ضریب تبدیل خوراک به میزان خوراک مصرفی هر حیوان مورد نیاز است. به این معنی که هر حیوان را باید در جایگاه‌های انفرادی نگهداری و به صورت دستی میزان خوراک مصرفی را اندازه گیری کرد و یا از فناوری پیچیده و گران قیمت استفاده نمود. روش کم هزینه و ساده‌تر که می‌توان به جای اندازه گیری خوراک مصرفی استفاده نمود، انتخاب برای افزایش وزن و اطمینان به بهبود ضریب تبدیل خوراک به علت همبستگی ژنتیکی مطلوب بین افزایش وزن روزانه و ضریب تبدیل خوراک (به عنوان مثال، در خوک حدود ۰/۷-) است.

دلیل دیگر استفاده از انتخاب صفت همبسته آن است که صحت انتخاب برای صفت همبسته ممکن است بالاتر از صحت انتخاب صفت مورد نظر باشد. در خوک، تعداد رکوردهای عملکرد افزایش وزن نسبت به ضریب تبدیل خوراک خیلی بیشتر است بنابراین، صحت پیش بینی‌های ژنتیکی برای افزایش وزن به طور معمول بالاتر از کارآیی خوراک است.

اگر صفت مورد نظر، صفت آستانه‌ای و صفت همبسته به صورت پیوسته باشد، شدّت انتخاب برای صفت همبسته می‌تواند بالاتر باشد. نمونه‌ای از این مثال در گاو گوشتی، انتخاب برای وزن تولد پایین‌تر به عنوان روشی برای کاهش مشکلات سخت زایی است. آسان زایی یک صفت آستانه‌ای است. رکوردهای عملکرد آسان زایی به طور معمول در سه گروه قرار می‌گیرند: زایش بدون کمک، زایش با کمک کم، زایش با کمک زیاد. به علت آن که میزان شیوع مشکلات زایش (به ویژه در گاوهای مسن‌تر) نسبتا پایین است شدّت انتخاب برای صفت آسان زایی در حیوانات جایگزین نیز پایین می‌باشد. از طرف دیگر، وزن تولد به عنوان صفتی پیوسته است که همبستگی ژنتیکی آن با صفت آسان زایی متوسط است. پرورش دهندگان می‌توانند بدون از دست دادن شدّت انتخاب مربوط به انتخاب مستقیم برای آسان زایی، برای وزن تولد پایین انتخاب کنند.

صفاتی نظیر وزن تولد در گاو گوشتی اغلب به عنوان صفات معرّف (Indicator trait) می‌باشند این گونه صفات ممکن است به تنهایی مهم باشند یا اهمّیتی نداشته نباشند، ولی جهت بهبود صفات همبسته از لحاظ ژنتیکی نظیر آسان زایی انتخاب می‌شوند. گاهی اوقات صفت شاخص به عنوان شاخص صفت دیگر (صفت

مهم‌تر از نظر اقتصادی) عمل می‌کند و انتخاب به صفت معرف محدود می‌شود. گاهی اوقات نیز بهترین راهبرد، انتخاب برای هر دو صفت شاخص و اصلی است.



شکل ۶- اندازه گیری اسکروتوم قوچها. محیط اسکروتال معرف باروری در قوچها و سن بلوغ در میش‌های خویشاوند با آنها است.

نسبت پاسخ

یکی از روش‌های تعیین کارآیی انتخاب صفت معرف، در مقایسه با انتخاب مستقیم، برآورد میزان پاسخ انتخاب در هر دو حالت انتخاب و بیان نتایج به صورت نسبت می‌باشد. با استفاده از فرمول زیر می‌توان این نسبت را به صورت خلاصه نوشت:

$$\frac{\Delta_{BV_{Y/X}}}{\Delta_{BV_Y}} = \frac{r_{BV_X,BV_Y} r_{BV_X,\widehat{BV}_X} i_X}{r_{BV_Y,\widehat{BV}_Y} i_Y}$$

فرمول معادل حالت انتخاب فنوتیپی، به صورت زیر است:

$$\frac{\Delta_{BV_{Y/X}}}{\Delta_{BV_Y}} = \frac{r_{BV_X,BV_Y} h_X i_X}{h_Y i_Y}$$

اثبات فرمول عمومی:

پاسخ همبسته صفت Y در صورت انتخاب صفت X برابر است با:

$$\Delta_{BV_{Y/X}}/_t = \frac{r_{BV_X,BV_Y} r_{BV_X,\widehat{BV}_X} i_X \sigma_{BV_Y}}{L}$$

و پاسخ مستقیم به انتخاب برای صفت Y برابر است با:

$$\Delta_{BV_Y}/_t = \frac{r_{BV_Y,\widehat{BV}_Y} i_Y \sigma_{BV_Y}}{L}$$

بنابراین نسبت پاسخ برابر است با:

$$\frac{\Delta_{BV_{Y/X}}/_t}{\Delta_{BV_Y}/_t} = \frac{\frac{r_{BV_X,BV_Y} r_{BV_X,\widehat{BV}_X} i_X \sigma_{BV_Y}}{L}}{\frac{r_{BV_Y,\widehat{BV}_Y} i_Y \sigma_{BV_Y}}{L}}$$

و بعد از ساده کردن داریم:

$$\frac{\Delta_{BV_{Y/X}}}{\Delta_{BV_Y}} = \frac{r_{BV_X,BV_Y} r_{BV_X,\widehat{BV}_X} i_X}{r_{BV_Y,\widehat{BV}_Y} i_Y}$$

مثال

انتخاب غیر مستقیم برای طول استاپل (SL) از طریق وزن پشم ناشور (GFW) را با انتخاب مستقیم برای طول استاپل مقایسه کنید. فرض کنید صحت انتخاب برای طول استاپل نسبت به وزن پشم ناشور بالاتر (طول استاپل وراثت پذیری بالایی دارد) و شدّت انتخاب در هر دو حالت برابر است، بنابراین:

$$\frac{\Delta_{BV_{SL/GFW}}}{\Delta_{BV_{SL}}} = \frac{r_{BV_{GFW},BV_{SL}} r_{BV_{GFW},\widehat{BV}_{GFW}} i_{GFW}}{r_{BV_{SL},\widehat{BV}_{SL}} i_{SL}}$$

$$= \frac{۰/۳۵\left(۰/۸\right)\left(۱/۹\right)}{۰/۸۵\left(۱/۹\right)}$$

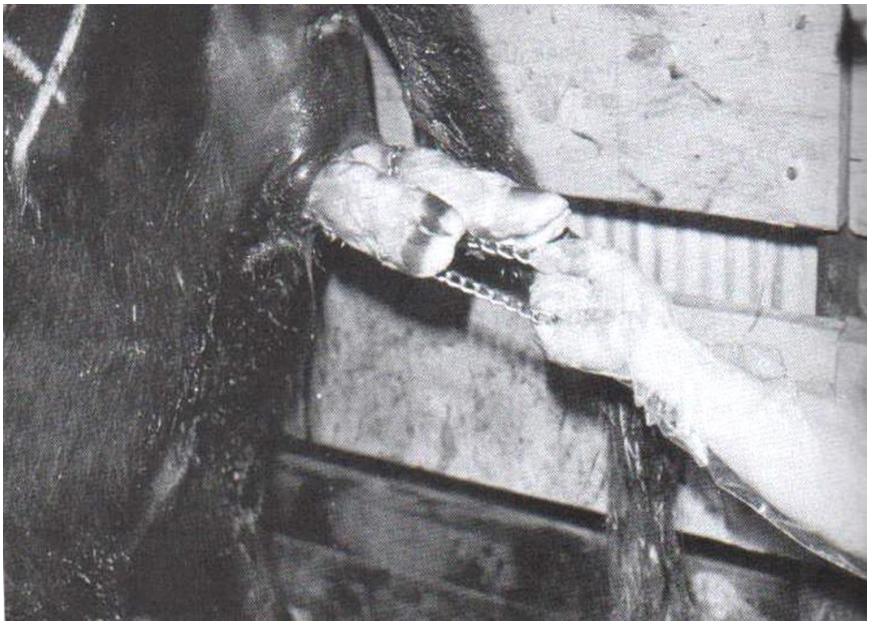
$$= ۰/۳۳$$

با فرض مساوی بودن تمام موارد دیگر، انتخاب برای وزن پشم ناشور به منظور بهبود طول استاپل معقول به نظر نمی‌رسد. نرخ تغییر ژنتیکی طول استاپل نسبت به حالت انتخاب مستقیم برای آن حدود $\frac{1}{3}$ است.

در این مثال، شدّت انتخاب صفت Y (طول استاپل) نسبت به شدّت انتخاب صفت X (وزن پشم ناشور) تفاوتی نداشت، لذا شدّت‌های انتخاب از معادله حذف شدند. بنابراین نسبت پاسخ، تنها تابعی از همبستگی ژنتیکی بین صفات و صحت‌های انتخاب است. اگر صفت Y صفت آستانه‌ای بوده و شدّت انتخاب پایین باشد، i_X و i_Y با هم تفاوت زیادی خواهند داشت، و اختلاف شدّت‌های انتخاب ممکن است اثر مهمی در نسبت انتخاب داشته باشد.

مزایا و معایب همبستگی ژنتیکی و پاسخ همبسته

همبستگی‌های ژنتیکی بین صفات و پاسخ همبسته به انتخاب حاصله از این همبستگی‌ها می‌توانند سودمند باشند و در مواردی می‌توان به دلیل مزایای آن از انتخاب غیر مستقیم استفاده کرد و مدل‌های آماری چند صفتی با استفاده از همبستگی‌های ژنتیکی، اریب ناشی از حذف به خاطر عملکرد پایین را کاهش داده و صحت پیش بینی را بهبود می‌دهند که به عنوان مزایای همبستگی ژنتیکی و پاسخ همبسته می‌باشد.



شکل ۷- کمک به گوساله زایی. همبستگی ژنتیکی مثبت و نامطلوب بین نرخ رشد و وزن تولد منجر به افزایش سخت زایی در گاو گوشتی می‌شود.

اگر از همبستگی‌های ژنتیکی نا مطلوب بی‌خبر باشیم یا آنها را نادیده بگیریم، انتخاب برای یک صفت می-تواند باعث ایجاد پاسخ نامطلوب در صفات دیگر شود که از معایب همبستگی‌های ژنتیکی و پاسخ همبسته محسوب می‌شود. به عنوان مثال، انتخاب ناآگاهانه برای نرخ رشد در گاو گوشتی، منجر به وزن تولد گوساله-های سنگین‌تر و افزایش سخت زایی می‌شود. اگر بخواهیم برای نرخ رشد انتخاب کرده و با سخت زایی مواجه نشویم، باید از انتخاب ساده برای نرخ رشد یا انتخاب علیه سخت زایی اجتناب کنیم. به روشی برای انتخاب هم زمان برای افزایش نرخ رشد و کاهش سخت زایی یعنی به روش انتخاب چند صفتی نیاز داریم.