دانشکده کشاورزی

گروه علوم دامی

نام درس:
اصلاح نژاد کاربردی

تدوین و گردآوری:
مرتضی مختاری

صفات

صفات را از لحاظ تعداد ژنهای موثر بر بروز آنها به دو دسته صفات با توارث ساده و صفات پلی ژنیک (چند ژنی)، از لحاظ نحوه بروز به دو دسته صفات پیوسته و گسسته و از لحاظ قابلیت اندازه گیری به دو دسته کمّی و کیفی تقسیم می شوند

صفات با توارث ساده Simply-Inherited Trait

صفات با توارث ساده به عنوان صفاتی هستند که فقط تحت تاثیر تعداد محدودی از ژن‌ها قرار می‌گیرند و هر ژن تاثیر زیادی بر صفت دارد که از آن جمله می توان به رنگ پوشش بدن، وجود شاخ و نقایص ژنتیکی نظیر سندرم عنکبوتی در گوسفند اشاره کرد. فقط یک جایگاه ژنی و یا تعداد محدودی جایگاه در بروز این صفات نقش دارند.

صفات چند ژنی Polygenic Traits

صفات چند ژنی صفاتی هستند که تعداد زیادی ژن بر بروز تاثیر زیادی می‌گذارند و هر ژن تاثیر جزئی بر بروز صفت دارد. سرعت رشد و تولید شیر مثال‌هایی از صفات چند ژنی هستند.

صفات پیوسته Continious Traits

صفاتی که بروز فنوتیپی آنها به صورت پیوسته بوده و بین دو مقدار فنوتیپ، بی‌شمار مقدار دیگر وجود دارد. از جمله این دسته از صفات می توان به تولید شیر و وزن بدن اشاره کرد.

صفات گسسته یا طبقه ای Discrete or Categirical Traits

در این دسته از صفات بروز فنوتیپ به صورت طبقات مجزاست و بین هر حالت فنوتیپ، حالت دیگری وجود ندارد. از این صفات می توان به تعداد گلبرگهای یک گل و وضعیت شاخداری در گاو اشاره نمود.

صفات کمّی Quantitative Traits

صفاتی مانند تولید شیر و افزایش وزن روزانه که قابل اندازه گیری هستند و فنوتیپ آنها به صورت یک عدد گزارش می شود.

صفات کیفی Qualitative Traits

صفاتی که فنوتیپ آنها قابل اندازه گیری نیست و توصیف می شود مانند رنگ چشم و یا رنگ بدن

صفات با توارث ساده دو ویژگی کلی دارند. نخست، اینکه فنوتیپ این صفات قابل طبقه بندی است. گاوها یا شاخدار یا بدون شاخ هستند؛ و بره‌ها سندرم عنکبوتی دارند یا ندارند. دوم اینکه، به طور معمول محیط تاثیر بسیار کمی بر صفات با توارث ساده دارد. به عنوان مثال یک گاو شاخدار اگر مدتها هم در معرض نور آفتاب و یا هر عامل محیطی دیگر قرار گیرد بی شاخ نمی شود.

صفات چند ژنی همانند صفات با توارث ساده، ویژگی‌های ثانویه مشابه دارند. فنوتیپ‌های صفات چند ژنی مانند وزن شیرگیری ۲۰ کیلوگرم و یا تولید شیر ۱۲۰۰۰ کیلوگرم در یک دوره شیردهی، به طور معمول با اعداد توصیف می‌شوند. برعکس صفات با توارث ساده به صورت چند دسته مجزا قابل دسته بندی هستند. فنوتیپ‌های صفات چند ژنی به صورت کمّی بیان شده و بروز پیوسته دارند. بنابراین اکثر صفات چند ژنی (نه همه آن‌ها) صفات کمّی هستند. صفات چند ژنی به میزان زیادی تحت تاثیر محیط قرار می‌گیرند. به طور مثال اگر گاوها و گوسفندان به خوبی تغذیه نشوند، رشدشان کندتر شده و شیر کمتری تولید می‌کنند.

در تقسیم بندی صفات باید به سه نکته اصلی توجه نمود. اول اینکه عمده صفات چند ژنی از لحاظ نحوه بروز پیوسته بوده و از لحاظ قابلیت اندازه گیری کمّی می باشند و عمده صفات کیفی از لحاظ نحوه بروز گسسته و از لحاظ قابلیت اندازه گیری کیفی می باشند ولی چند ژنی بودن صفت الزاماً به معنی پیوسته بودن و کمّی بودن آن نیست و توارث ساده بودن آن نیز ازاماً به معنی کیفی بودن و گسسته بودنش نمی باشد. صفات آستانه ای (Threshold Traits) نمونه مشهودی در این خصوص می باشند. صفات آستانه‌ای صفات چند ژنی هستند که فنوتیپ‌های قابل دسته بندی را بروز می‌دهند. سخت زایی مثالی بارز از صفات آستانه‌ای است. فنوتیپ‌های سخت زایی اغلب در دو دسته زایمان با کمک دامدار یا بدون کمک دامدار و یا یک طبقه بندی پنج دسته ای بر اساس شدت سخت زایی قرار می‌گیرند. به علت ماهیت این فنوتیپ‌ها، ممکن است فرض شود که سخت زایی صفتی با توارث ساده است. در حالی که به علت اثر تعداد زیادی ژن بر روی آن، صفت چند ژنی است. ژن‌های زیادی اندازه جنین (یا جنین‌ها)، باز شدن لگن مادر و تلاش جهت تحویل جنین را تحت تاثیر قرار می‌دهند. باروری (به صورت موفقیت یا عدم موفقیت در آبستن شدن) نیز مثالی دیگر از یک صفت آستانه ای است.

نکته دومی که باید به آن توجه کرد این است که ژن‌های موثر بر هر دو نوع صفت از قوانین مندلی شامل اصل تفرّق و اصل جور شدن مستقل پیروی می کنند. همچنین غلبه و اپی ستازی بر بروز ژن در هر دو نوع صفات موثر هستند. به طور پذیرفته شده‌ای، اکثر مثال‌های عملی استفاده شده برای نشان دادن ساز و کار مندلی، صفاتی با توارث ساده هستند. تنها به این دلیل است که ژن‌های موثر بر این صفات به خوبی شناسایی شده‌اند. گذشته از این‌ها، در بروز صفاتی با توارث ساده، تعداد کمی ژن دخیل‌اند. به دلیل اینکه

تعداد زیادی ژن بر صفات چند ژنی اثر می‌گذارند و اثر هر ژن بسیار کوچک است، چیز زیادی در مورد آنها نمی‌دانیم. بنابراین، استفاده از صفات چند ژنی به عنوان مثال‌هایی از توارث مندلی دشوار است.

نکته سوم اینکه، ابزارهای اصلی اصلاح دام - انتخاب و آمیزش- برای هر دو صفات با توارث ساده و چند ژنی، مشابه است. هنگامی که پرورش دهندگان برای هر دو نوع صفت انتخاب می‌کنند، سعی در افزایش فراوانی آلل‌های مطلوب دارند. اگر پرورش دهنده‌ای تنها حیوانات بی‌شاخ را از گله گاوهای بی‌شاخ دار و شاخ دار انتخاب کند، فراوانی آلل بی شاخی در آن گله افزایش خواهد یافت.

با وجود این که قوانین مندل برای صفات با توارث ساده و چند ژنی یکسان است و سامانه‌های آمیزش و انتخاب برای بهبود هر دو نوع صفت به کار می‌روند، ولی در هر مورد روش‌های اصلاحی کاملاً متفاوتی به کار گرفته می‌شود. این تفاوت در روش، تابعی از تعداد ژن‌های دخیل است. هر چه تعداد ژن‌های موثر بر صفتی بیشتر باشد، مشاهده اثر تک تک ژن‌ها دشوارتر است، بنابراین اطلاعات اختصاصی کمتری درباره آن ژن‌ها داریم. میزان اطلاعات در دسترس بر روش مورد استفاده برای توصیف ژنوتیپ‌ها تاثیر گذاشته و بنابراین فناوری اصلاح نژادی مورد استفاده را تعیین می‌کند.

مدل ژنتیکی برای صفات کمّی

وظیفهٔ متخصص اصلاح نژاد دام در انتخاب برای صفات با توارث ساده، شناسایی ژنوتیپ‌های افراد برای جایگاه-های مورد نظر و انتخاب افرادی با مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها است. کار متخصص اصلاح نژاد دام در انتخاب برای صفات چند ژنی نیز مشابه آن است، اما با این تفاوت که تعیین ژنوتیپ‌ها مد نظر نیست و در بسیاری موارد ممکن است امکان پذیر هم نباشد. در عوض، اصلاح گر سعی می‌کند که تا ارزش اصلاحی افراد را برای صفات مهم تعیین نماید و افراد دارای بهترین ارزش های اصلاحی را انتخاب کند. برای درک بهتر ارزش‌های اصلاحی و مفاهیم مربوط به آن، به مدل ریاضی نیازمندیم. ژنتیک کمّی شاخه‌ای از علم ژنتیک است که درباره مدل ژنتیکی صفات کمی و کاربردهای آن بحث می‌کند.

مدل پایه

مدل ژنتیکی پایه برای صفات کمی با صورت معادله زیر ارائه شده است:

$$P = \mu + G + E$$

در این مدل P ارزش فنوتیپی یا عملکرد فرد ، μ میانگین جمعیت یا میانگین ارزش فنوتیپی همه افراد جمعیت، G ارزش ژنوتیپی فرد ، و E اثر محیطی تاثر گذار بر عملکرد فرد برای هر صفت می باشد.

ارزش فنوتیپی رکورد عملکردی فرد است و معیاری از عملکرد خود دام برای یک صفت خاص می‌باشد. ارزش ژنوتیپی به اثر ژن‌های فرد (به صورت منفرد یا ترکیبی) بر عملکرد حیوان برای یک صفت اشاره می‌کند و برخلاف ارزش فنوتیپی، به صورت مستقیم قابل اندازه گیری نیست. اثر محیطی شامل همهٔ عوامل غیر ژنتیکی موثر بر عملکرد فرد برای یک صفت می‌باشد.

دلیل در نظر گرفتن میانگین در مدل، تاکید بر این نکته است که در اصلاح نژاد دام، ارزش های ژنوتیپی، اثرهای محیطی، و تمام عناصر دیگر موجود در مدل ژنتیکی نسبی هستند و نسبت به جمعیت مورد نظر سنجیده می شوند. این ارزش‌ها مطلق نیستند. ارزش‌های عددی آنها به میانگین عملکرد جمعیت بستگی دارد، و بنابراین به صورت انحراف از میانگین جمعیت بیان می‌شوند.

ارزش اصلاحی Breeding Value

در انتخاب برای صفات چند ژنی، متخصصین اصلاح دام سعی می‌کنند افرادی با بهترین مجموعه ژنی یا بهتر است بگوییم افرادی با بهترین ارزش اصلاحی را انتخاب کنند. ، ارزش ژنوتیپی، اثر کل ژن‌های فرد (به صورت منفرد و ترکیبی) در عملکرد خود فرد برای یک صفت را نشان می‌دهد. با این وجود، تمام ارزش ژنوتیپی، قابل توارث نیست. ارزش اصلاحی، بخشی از ارزش ژنوتیپی فرد است که ناشی از اثرهای مستقل ژنی بوده و از والد به نتاج منتقل می‌شود. روش دیگر برای درک تفاوت بین ارزش ژنوتیپی و ارزش اصلاحی، در نظر گرفتن ارزش ژنوتیپی به عنوان ارزش ژن‌های فرد به عملکرد خودش، و ارزش اصلاحی به عنوان ارزش ژن‌های فرد به عملکرد نتاج آن می باشد. ارزش اصلاحی نیز مانند ارزش ژنوتیپی به صورت مستقیم قابل اندازه گیری نیست. با این وجود، می‌توان با استفاده از داده‌های عملکردی آن را پیش بینی نمود. پیش بینی ارزش اصلاحی به عنوان ارزش اصلاحی برآورد شده نامیده می‌شود. هر والد نیمی از نمونه ژن‌های خود را منتقل می‌کند، بنابراین نیمی از نمونهٔ اثرهای مستقل ژن‌ها به نتاج منتقل می شود. به دلیل آنکه ارزش اصلاحی، مجموع اثرهای مستقل همهٔ ژن‌های موثر بر صفت در فرد است، والد به طور میانگین نیمی از ارزش اصلاحی خود را به فرزندانشان منتقل می‌کند. نصف ارزش اصلاحی والدین برای یک صفت همان است که انتظار داریم از والدین منتقل می‌شود و تفاوت نتاج (Progeny difference) یا قابلیت انتقال (Transmitting ability) نامیده می‌شود که به طور متوسط برابر با نصف ارزش اصلاحی فرد می باشد. دانستن این نکته نیز مهم است که فرد دقیقاً نصف ارزش اصلاحی خود را به هر یک از فرزندانش منتقل نمی‌کند. یک والد اغلب نصف ژن‌های خود را منتقل می‌کند اما ژن‌های انتقال یافته، یک نمونه تصادفی از ژن‌های والدین هستند. بعضی از نمونه‌ها بهتر از بقیه می‌باشند. به طور متوسط، نصف ارزش اصلاحی (تفاوت نتاج) فرد منتقل می‌شود. اما به طور معمول، نمونه گیری مندلی سبب می‌شود که نیمی از نمونهٔ ژن‌هایی که به نتاج منتقل می‌شود، با نصف شایستگی حقیقی (BV) ژن‌های والد تفاوت داشته باشد.

ویژگی‌های ارزش اصلاحی

- ارزش اصلاحی برای هر فرد پیش بینی می شود، در واقع ارزش اصلاحی ویژگی جامعه نیست

- هر فرد به تعداد صفات چند ژنی خود ارزش اصلاحی دارد.

- واحد ارزش اصلاحی حیوان برای هر صفت با واحد صفت مربوطه یکسان است.

- میانگین ارزش اصلاحی حیوانات جمعیت برای هر صفت، صفر است.

- ارزش اصلاحی حیوانات هر جامعه نسبت به میانگین همان جامعه سنجیده می شود و به صورت اعداد مثبت (بیشتر از میانگین جامعه)، منفی (کمتر از میانگین جامعه) و یا صفر (برابر با میانگین جامعه) بیان می شود.

- بیشتر بودن ارزش اصلاحی یک حیوان الزاماً دلیل بر مطلوبین بیشتر و برتر بودن حیوان نیست، بلکه متناسب با نوع صفت باید تفسیر گردد. به عنوان مثال برای صفتی مانند تولید شیر بیشتر بودن ارزش اصلاحی مطلوب است و برای صفتی مانند تعداد تلقیح مورد نیاز برای آبستنی در گاو، کمتر بودن ارزش اصلاحی مطلوب است.

- برتر بودن یک حیوان بر اساس ارزش اصلاحی در یک جامعه، به معنی برتر بودن آن حیوان در دیگر جوامع نیست.

ارزش ترکیبی ژن

ارزش اصلاحی بخشی از ارزش ژنوتیپی قابل انتقال از والدین به نتاج است. بخش باقی مانده ارزش ژنوتیپی را ارزش ترکیبی ژن ((Gene combination value (GCV) می‌نامند. ارزش ترکیبی ژنی بخشی از ارزش ژنوتیپی فرد برای یک صفت است که به دلیل اثرات ترکیبی ژن (غالبیت و اثر متقابل ژن ها) می‌باشد. به دلیل آنکه ژن‌های افراد در طی میوز تفرّق یافته و به صورت مستقل از هم جور می‌شوند، نه ترکیبات ژنی، ارزش ترکیبی ژن از والدین به نتاج قابل انتقال نمی‌یابد. ارزش اصلاحی و ارزش ترکیبی ژن با همدیگر ارزش ژنوتیپی صفت را تشکیل می‌دهند.

$$G=BV+GCV$$

اثرهای ترکیبی ژن مانند اثرهای مستقل ژنی، افزایشی نیستند و نمی‌توان اثرهای ترکیبی ژن را برای تعیین ارزش ترکیبی ژن افراد با هم جمع نمود. به علت آن است که اثرهای ترکیبی ژن در یک یا چند جایگاه ممکن است به حضور ژن های جایگاه های دیگر بستگی داشته باشند. همچنین ارزش ترکیب ژنی مانند ارزش اصلاحی افزایشی نیست و نمی‌توان برای پیش بینی ارزش‌های ترکیبی ژن در نتاج از ارزش های ترکیبی ژن های والدین میانگین گرفت. از لحاظ ریاضی:

$$GCV_{\text{نتاج}} \neq \frac{۱}{۲}GCV_{\text{پدر}} + \frac{۱}{۲}GCV_{\text{مادر}}$$

اثرات ترکیبی ژن غیر افزایشی هستند از این رو اثرهای ترکیبی ژن را معمولاً اثرهای ژنی غیر افزایشی (Non-additive gene effects)، و ارزش ترکیبی ژن را به طور معمول ارزش ژنتیکی غیر افزایشی یا به طور ساده ارزش غیر افزایشی گویند.

برخلاف ارزش‌های اصلاحی، ارزش های ترکیب ژنی افراد به ندرت قابل پیش بینی هستند که تا حدودی به دلیل مشکل بودن پیش بینی ارزش‌های ترکیبی ژن است، اما بیشتر به علت آن است که پیش بینی ارزش ترکیبی ژن در عمل کاربرد اندکی دارد. گذشته از این‌ها، ارزش ترکیبی ژن از والدین به نتاج منتقل نمی‌شود. دانستن ارزش‌های اصلاحی تا حد زیادی به ما در انتخاب کمک می کند، اما دانستن ارزش های ترکیب ژنی این گونه نیست. این بدان معنی نیست که ارزش ترکیبی ژن اهمیت ندارد. برعکس، ارزش ترکیبی ژن‌های فرد در یک صفت می‌تواند تاثیر زیادی بر روی عملکرد خود فرد داشته باشد. اهمیت ویژۀ ارزش ترکیبی ژن به این بستگی دارد که شما پرورش دهنده گلّه مولّد یا گلّه تجاری باشید. پرورش دهندگان گلّه مولّد، ارزش اصلاحی حیوانات را می فروشند، بنابراین ارزش اصلاحی دغدغه اصلی آنها است. پرورش دهندگان گلّه تجاری عملکرد حیوانات را می‌فروشند و ارزش ترکیبی ژن به میزان مشارکت آن در عملکرد دغدغه این پرورش دهندگان است. مدل ژنتیکی پایه برای صفات کمی را می‌توان به گونه‌ای بسط داد که ارزش اصلاحی (BV) و ارزش ترکیب ژنی (GCV) را در بر گیرد. از لحاظ ریاضی میتوان نوشت:

$$P=\mu+ BV++ GCV + E$$

توانایی تولید Producing Ability (PA)

برای صفات تکرار پذیر، صفاتی که افراد در طول عمر خود معمولاً بیش از یک رکورد عملکردی از آن‌ها وجود دارد، ارزش دیگری به نام توانایی تولید (PA) نیز مهم است. توانایی تولید به قابلیت عملکرد فرد برای یک صفت تکرار پذیر گفته می‌شود. از جمله صفات تکرار پذیر می‌توان به تولید شیر در نژادهای شیری، تولید پشم در گوسفند و دوقلوزایی در گوسفند، در صورتی که به عنوان صفتی از میش در نظر گرفته شود نه صفتی از بره، اشاره کرد.

توانایی تولید به عنوان معیاری از ظرفیت تولید، برای پرورش دهندگان تجارتی اهمیت ویژه‌ای دارد. به عنوان مثال، در یک واحد تجاری پرورش گاوهای شیری، توانایی تولید گاوها با اثرهای محیطی مدیریت، ترکیب شده و مقدار شیر تولیدی برای فروش را تعیین می‌کند. پرورش دهندگان گاوهای شیری به طور معمول گاوهای خود را بر اساس توانایی تولید هر یک از آنها تغذیه می‌کنند. بنابراین پیش بینی توانایی تولیدکه معمولاً حداکثر احتمال

توان تولید (Most probable producing ability (MPPA نامیده می‌شودکاملا مفید است و معمولا با استفاده از داده‌های عملکرد محاسبه می‌شود. هنگامی که MPPA حیوان برای صفتی به میانگین جمعیت افزوده شود، پیش بینی رکورد بعدی حیوان است. از لحاظ ریاضی:

$$\hat{P}=\mu+MPPA$$

که $\hat{P}$، پیش بینی عملکرد را نشان می‌دهد. نمی‌توان رکود بعدی حیوان را به طور دقیق پیش بینی کرد، زیرا اطلاعاتی در مورد اثر محیطی موقت بر رکورد بعد نداریم. هر چند اغلب می‌توان با پیش بینی توان تولید به آن عدد نزدیک شد.

اثرات محیطی دایمی و موقت

توانایی تولید تابعی از همه عواملی است که تاثیر دائمی بر عملکرد فرد دارند. ارزش ژنوتیپی و مولفه‌های آن (ارزش اصلاحی و ارزش ترکیبی ژن) در زمان لقاح تعیین می‌شوند. بنابراین این اثرات دائمی هستند. همچنین برخی از اثرات محیطی می‌توانند به طور دائم بر عملکرد فرد تاثیر بگذارند. به عنوان مثال، مشخص شده که تغذیه در دوران گوسالگی اثر دائمی بر توانایی تولید شیر گاوهای شیری و گوشتی دارد. اثرات محیطی که بر عملکرد حیوان برای صفات تکرار پذیر تاثیر دایمی دارند به عنوان اثرات محیطی دایمی (Permanent environmental effect (E_p)) شناخته می‌شوند. بنابراین توانایی تولید به صورت زیر است:

$$PA=G+E_p$$

و چون

$$G=BV+GCV$$

بنابراین

$$PA=BV+GCV+E_p$$

توجه نمائید که توانایی تولید صرفاً ارزش ژنتیکی یا ارزش محیطی نیست، بلکه ترکیبی از آنها است. برخی اثرات محیطی بر روی پتانسیل عملکرد حیوان اثر دایمی ندارند. این اثرات موقتی هستند، و تنها یک بار بر عملکرد حیوان تاثیر می گذارند. به عنوان مثال بروز بیماری را می توان به عنوان یک عامل محیطی موقتی در نظر گرفت که سبب تاثیر سوء بر عملکرد تولیدی و یا تولید مثلی دام می گردد. مدل ژنتیکی برای یک رکورد عملکرد فرد در صفتی تکرار پذیر را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$P=\mu+G+E_p+E_t$$

یا $P=\mu+BV+GCV+E_p+E_t$

پارامترهای ژنتیکی

وراثت پذیری Heritability

نسبتی از واریانس فنوتیپی است که ناشی از واریانس اثرات ژنتیکی افزایشی است. وراثت پذیری درجه شباهت عملکرد نتاج به والدین خود برای صفتی می‌باشد. در صفات با وراثت پذیری بالا، حیوانات دارای عملکرد بالا، فرزندانی با عملکرد بالا تولید می‌کنند، و حیوانات با عملکرد پایین، نتاجی با عملکرد پایین را تولید می‌نمایند. به عبارت دیگر، اگر صفتی وراثت پذیری بالایی نداشته باشد، رکوردهای عملکرد والدین، اطلاعات چندانی را دربارهٔ عملکرد نتاج ارائه نمی‌دهند. تعریف زیر کاربردی‌تر است و معنی وراثت پذیری در نهایت، بسیار فراتر از درجه شباهت بین والدین و نتاج می باشد. وراثت پذیری میزان قوی بودن (پایدار و قابل اعتماد) رابطهٔ بین عملکرد (ارزش‌های فنوتیپی) و ارزش‌های اصلاحی یک صفت در جمعیت است. در حقیقت از دیدگاه عملی، به این معنی است که عملکرد حیوانات در صفات با وراثت پذیری بالا، تا حدود زیادی ارزش اصلاحی آنها را آشکار می‌سازد. حیواناتی با عملکرد بهتر، به طور معمول، ارزش‌های اصلاحی بهتری داشته و بنابراین نتاجی با عملکرد بهتر تولید می‌کنند. حیوانات با عملکرد ضعیف‌تر، به طور معمول ارزش‌های اصلاحی بدتری داشته و نتاج با عملکرد ضعیف‌تری را تولید خواهند نمود. همان طور که از تعریف وراثت پذیری بر می آید میزان قوّت یک رابطه، به نظر می رسد که وراثت پذیری تا حدودی شبیه به همبستگی است. در حقیقت، وراثت پذیری (که با علامت h^2 نشان داده می‌شود)، همبستگی بین ارزش‌های فنوتیپی و ارزش‌های اصلاحی نیست، بلکه توان دوم همبستگی بین ارزش‌های فنوتیپی و ارزش‌های اصلاحی است. از لحاظ ریاضی:

$$h^2 = r^2_{P,BV}$$

به زبان دقیق‌تر، وراثت پذیری تعریف شده، وراثت پذیری در مفهوم خاص است. تعریف دیگر مرتبط با آن وراثت پذیری در مفهوم عام (H^2) است که میزان قوی بودن ارتباط بین عملکرد (ارزش‌های فنوتیپی) و ارزش های ژنوتیپی برای یک صفت در جمعیت می باشد. به زبان ریاضی:

$$H^2 = r^2_{P,G}$$

وراثت پذیری در مفهوم عام، تمام اثرهای ژنتیکی موثّر بر تظاهر یک صفت را اندازه گیری می‌کند، زیرا شامل سهم ارزش اصلاحی و نیز ارزش ترکیبی ژن است. با وجود این، مفهوم مناسبی نیست. زیرا ارزش‌های ترکیبی ژن نمی‌توانند توارث یابند، و وراثت پذیری در مفهوم عام منعکس کنندهٔ ارتباط بین عملکرد حیوانات و پتانسیل آنها به عنوان والدین نیست، بنابراین از دید انتخاب، معیار مفیدی نخواهد بود. صفات با وراثت پذیری زیر ۰/۲ به عنوان صفات با وراثت پذیری پایین، صفات با وراثت پذیری بین ۰/۲ تا ۰/۴ به عنوان صفاتی با وراثت پذیری متوسط و صفات با وراثت پذیری بالای ۰/۴ به عنوان صفات با وراثت پذیری بالا در نظر گرفته می‌شوند.

ویژگی های وراثت پذیری

- پارامتر جامعه است و ارزش فرد نیست.

- مقدار برآورد شده برای وراثت پذیری هر صفت در یک جامعه مختص همان جامعه است

- وراثت پذیری صفت ثابت نیست و از جمعیتی به جمعیت دیگر و از محیطی به محیط دیگر متغیّر است. در یک جامعه نیز در زمانهای مختلف (عمدتاً به دلیل تغییر شرایط محیطی و یا ورود افراد جدید به جامعه) نیز تغییر می کند.

- وراثت پذیری از لحاظ ریاضی همیشه مثبت است، دامنهٔ آن از صفر تا یک، یا بر حسب درصد از ۰٪ تا ۱۰۰٪ می‌باشد.

- صفات با وراثت پذیری نزدیک به صفر، وراثت پذیری بسیار کمی داشته، و صفات با وراثت پذیری نزدیک به یک، کاملا توارث پذیر هستند.

تصوّرات نادرست از وراثت پذیری

- اینکه صفتی منشأ ژنتیکی داشته باشد به این معنی نیست که صفت وراثت پذیر است. هنگامی که صفتی را توارث پذیر می‌نامیم که تفاوت‌های عملکرد در آن صفت، توارث پذیر باشد. بعضی از صفات تنوّع فنوتیپی ندارند، با وجود آنکه ممکن است صد در صد منشأ ژنتیکی داشته باشند اما قابل توارث نیستند. صفت تعداد دست و پاها در حیوانات را در نظر بگیرید. حیوانات ۴ دست و پا دارند و ناهنجاری‌های مادرزادی تعداد پا به ندرت اتفاق می-افتد. می‌توان گفت که تمام حیوانات با ۴ دست و پا متولد می‌شوند. یقیناً تعداد پاها منشأ ژنتیکی دارد و در

DNA حیوانات جایگاهی برای کد کردن این صفت وجود دارد. اما از آن جا که تفاوتی در تعداد پاها وجود ندارد، صفتی توارث پذیر نخواهد بود.

- اگر وراثت پذیری صفتی بالا باشد، الزاماً به این معنی نیست که ارزش‌های اصلاحی آن نیز بالا خواهند بود. وراثت پذیری بالای صفت تنها نشان دهندهٔ وجود ارتباط قوی (همبستگی بالا) بین ارزش‌های فنوتیپی و ارزش-های اصلاحی در آن صفت است. بدون در نظر گرفتن مقدار وراثت پذیری صفت (هرگاه h^2 صفر نباشد)، ارزش-های اصلاحی بالا، متوسط و پایین در یک جمعیت وجود خواهد داشت.

وراثت پذیری و شباهت بین خویشاوندان

وقتی وراثت پذیری صفتی بالا باشد، خویشاوندان اغلب در آن صفت شبیه یکدیگر هستند (یعنی اغلب عملکرد مشابهی دارند). برعکس، وقتی وراثت پذیری صفتی پایین باشد، شباهت کمی بین خویشاوندان وجود دارد. خویشاوندان در بسیاری از ژن‌ها مشابه هستند زیرا آنها را از اجداد مشترکی به ارث برده‌اند. خویشاوندان نزدیک مانند برادران و خواهران تنی، ناتنی، والدین و نتاج آنها به نسبت بیشتری (به ترتیب ۵۰٪، ۲۵٪ و ۵۰٪)، و خویشاوندان دورتر به نسبت کمتری از ژن‌های خود مشترک هستند. وقتی افراد از نظر ژنی مشابه هستند، از نظر اثرهای مستقل همان ژن‌ها نیز مشابه خواهند بود. در نتیجه، ارزش‌های اصلاحی آن‌ها نیز شبیه به هم خواهد بود. به عبارت دیگر، ارزش‌های اصلاحی خویشاوندان با هم همبستگی دارد. این همبستگی با وراثت پذیری مرتبط نیست) و به تابعی از رابطهٔ خویشاوندی است. همان طور که انتظار داریم، همبستگی بین ارزش-های اصلاحی خویشاوندان نزدیک، بیشتر از همبستگی بین ارزش‌های اصلاحی خویشاوندان دورتر خواهد بود. وقتی وراثت پذیری بالاست، ارتباطی قوی بین عملکرد مشاهده شده و ارزش‌های اصلاحی وجود دارد و ارزش-های فنوتیپی و ارزش‌های اصلاحی همبستگی بالایی دارند. به این معنی که وقتی وراثت پذیری بالا است، شباهت در ارزش‌های اصلاحی خویشاوندان به صورت شباهت در ارزش‌های فنوتیپی آنها نیز ظاهر خواهد شد. خویشاوندان عملکرد مشابهی را نشان می‌دهند، و احتمالا افرادی با رابطهٔ خویشاوندی نزدیک‌تر، از نظر عملکرد با یکدیگر شباهت بیشتری دارند. از این رو می‌توان توجیه نمود که چرا شباهت خویشاوندان در مورد صفات با وراثت پذیری پایین کمتر است. قبلاًگفتیم که که ارزش‌های اصلاحی خویشاوندان به علت رابطهٔ خویشاوندی، مشابه است. اما وقتی وراثت پذیری پایین باشد، ارزش‌های اصلاحی و فنوتیپی با یکدیگر رابطهٔ کمتری دارندو شباهت ارزش‌های اصلاحی خویشاوندان به صورت شباهت در عملکرد،مشاهده نخواهد شد.

اهمیت وراثت پذیری

وراثت پذیری و انتخاب

وراثت پذیری در انتخاب صفات چند ژنی بسیار مهم است. هدف از انتخاب، گزینش حیواناتی با بهترین ارزش-های اصلاحی به عنوان والدین نسل بعد می باشد. از این رو، به اطلاعات صحیحی در مورد کاندیداهای انتخاب نیاز داریم. چون معمولاً تنها منبع اطلاعاتی در دسترس اطلاعات فنوتیپی است، میزان ارتباط بین ارزش‌های فنوتیپی و ارزش‌های اصلاحی (یعنی وراثت پذیری) بسیار بااهمیت می‌باشد. ساده‌ترین شکل انتخاب یعنی انتخاب فنوتیپی را در نظر بگیرید. در انتخاب فنوتیپی، عملکرد خود حیوان تنها منبع اطلاعاتی مورد استفاده برای انتخاب یا حذف آن حیوان است. در این روش انتخاب، اطلاعات شجره و نتاج در نظر گرفته نمی‌شوند. به طور کلّی، هنگامی که وراثت پذیری صفتی پایین باشد، ارزش‌های فنوتیپی اطلاعات کمی را دربارهٔ ارزش‌های اصلاحی نشان می‌دهند، بنابراین تعیین حیوانات با بهترین ارزش‌های اصلاحی به عنوان بهترین والدین بالقّوه، مشکل است.در این حالت، صحت انتخاب یا (به طور دقیق‌تر) صحت پیش بینی ارزش اصلاحی پایین است، در نتیجه انتظار می‌رود که سرعت تغییر ژنتیکی پایین باشد. اما وقتی وراثت پذیری بالا است عکس این حالت برقرار بوده و عملکرد حیوان، شاخص خوبی از ارزش اصلاحی اش خواهد بود. بنابراین صحت انتخاب خوب است و تغییر ژنتیکی بایستی سریع باشد. با مقدار اطلاعات برابر، صحت انتخاب برای صفت با وراثت پذیری بالا اغلب بیشتر از صفت با وراثت پذیری پایین است، ودر صورت یکسان بودن تنوّع ژنتیکی دو صفت، سرعت تغییر ژنتیکی ناشی از انتخاب برای صفت دارای وراثت پذیری بالاتر، سریع‌تر خواهد بود.

وراثت پذیری و پیش بینی ارزش اصلاحی

وراثت پذیری در پیش بینی ارزش‌های اصلاحی، تفاوت‌های نتاج و قابلیت تولید نقش مهمّی دارد. تقریبا همواره معادلات مورد استفاده در پیش بینی این مقادیر، تابعی از وراثت پذیری هستند. به عنوان مثال، فرض کنید که می‌خواهیم براساس تعداد بره های زایش یک میش، ارزش اصلاحی او را برای تعداد بره های از شیر گرفته شده، پیش بینی کنیم، در حالی که ارتباط بین این دو صفت بسیار پایین است. وراثت پذیری این صفت پایین (تقریبا ۰/۱۰) است. به عبارت دیگر، ارتباط بین عملکرد تعداد بره های از شیر گرفته و ارزش اصلاحی این صفت، خیلی ضعیف است.

وراثت پذیری و مدیریت

وراثت پذیری نشان می‌دهد که چقدر از تفاوت‌های عملکردی حیوان برای صفتی را عوامل قابل توارث در مقابل عوامل محیطی کنترل می‌کنند. برای صفات با وارثت پذیری بالا، تفاوت بین ارزش‌های اصلاحی حیوانات، تاثیر زیادی در عملکرد داشته و تفاوت‌های محیطی، اهمیت کمتری دارند. عکس این حالت برای صفات با وارثت پذیری پایین صادق است. از این رو، پرورش دهندگان تمایل دارند که صفات با وراثت پذیری بالاتر را انتخاب کنند، زیرا می‌دانند که با این کار می‌توانند تغییر ژنتیکی قابل توجّهی را ایجاد کنند. از آنجا که تاثیر انتخاب برای صفات با وارثت پذیری پایین اندک است پرورش دهندگان در اکثر مواقع برای تغییر ژنتیکی این صفات به جای به کارگیری انتخاب تا حدودی از طریق مدیریت عملکرد را بهبود می‌دهند.

به طور معمول، ایده استفاده از انتخاب به عنوان اولین ابزار بهبود عملکرد در صفات با توارث پذیری بالا و به کارگیری مدیریت برای بهبود عملکرد صفات با توارث پذیری پایین ایده درستی است، اما باید دقت کرد که کورکورانه از آن تبعیت نکنیم. بعضی صفات از نظر اقتصادی بسیار مهم هستند که علیرغم داشتن وراثت پذیری پایین، بهتر است که بهبود آنها از طریق انتخاب انجام شود. صفات باروری و قابلیت زنده ماندن در اکثر گونه‌ها مثال هایی از این صفات هستند. حتی اگرچه می دانیم که اثرات محیطی عوامل تاثیر گذار بر عملکرد صفاتی با وراثت پذیری پایین هستند ولی به این معنی نیست که می توان این اثرات را شناسایی و دست کاری نمود. به عنوان مثال، تلفات در دوران جنینی وراثت پذیری پایینی دارد اما در مورد نحوۀ مدیریت حیوانات برای پیشگیری از تلفات جنینی اطلاعات اندکی وجود دارد. در نهایت این که، وراثت پذیری پایین به این معنی نیست که بهبود عملکرد از طریق انتخاب امیدوار کننده نباشد.

تکرار پذیری Repeatability

نسبتی از واریانس فنوتیپی است که ناشی از واریانس ژنتیکی و واریانی اثرات محیطی دائمی است. تکرار پذیری استحکام ارتباط بین رکوردهای تکراری یک صفت در جمعیت است. تکرارپذیری را می‌توان برای هر صفتی با بیش از یک رکورد عملکرد در افراد تعیین نمود. میزان تولید شیر در حیوانات شیری،تعداد بره متولد شد در هر زایش در میش و وزن پشم تولیدی در گوسفند مثال‌هایی از صفات تکرار شده هستند. تکرار پذیری با علامت r، نشان داده می‌شود.در هر فرد، فقط اثر محیط موقت از یک رکورد به رکورد دیگر تغییر می‌کند. قابلیت تولید از اثرهای دایمی شامل ارزش اصلاحی، ارزش ترکیبی ژن و اثر محیطی دایم تشکیل شده است. اگر تکرارپذیری صفتی بالا باشد در صورتی که اولین رکورد حیوانی بالاتر از میانگین باشد به طور معمول، دومین رکورد آن هم بالاتر از میانگین خواهد بود، و اگر اولین رکورد حیوان پایین‌تر از میانگین باشد، دومین رکورد وی نیز پایین‌تر از میانگین خواهد بود، و رکوردهای یک حیوان اغلب مقدار مشابهی دارند.برعکس، اگر تکرار پذیری صفتی کم

باشد در صورتی که اوّلین رکورد بالاتر یا پایین‌تر از میانگین باشد بدین معنی نیست که دومین رکورد نیز به ترتیب بالاتر یا پایین‌تر از میانگین می‌باشد در واقع ارتباط کمی بین اولین و دومین رکورد فرد وجود دارد.

به طور ساده می توان گفت وقتی تکرار پذیری زیاد است، یک رکورد عملکرد حیوان، به طور میانگین، شاخص خوبی از قابلیت تولید آن حیوان است، اما وقتی تکرار پذیری کم است یک ارزش فنوتیپی منفرد اطلاعات بسیار کمی در مورد قابلیت تولید در اختیار ما قرار می‌دهد. از لحاظ ریاضی، تکرارپذیری نوعی همبستگی است و در واقع نیز همین طور است. تکرار پذیری، همبستگی بین رکوردهای تکرار شده صفتی در جمعیت است. همچنین در اکثر موارد تکرار پذیری، توان دوم همبستگی بین رکوردهای عملکردی (ارزش‌های فنوتیپی) و قابلیت تولید برای صفتی در جمعیت است. از لحاظ ریاضی، دو تعریف تکرارپذیری به صورت زیر هستند:

$$r = r_{p_1,p_2}$$

و (به طور معمول):

$$r = r^2{}_{P,PA}$$

که در اینجا اندیس ۱ و ۲، دو رکورد مختلف فرد برای یک صفت است.

به طور تجربی، صفات با تکرار پذیری زیر ۰/۲ به عنوان صفات با تکرار پذیری پایین، صفات با تکرار پذیری بین ۰/۲ تا ۰/۴ به عنوان صفاتی با تکرار پذیری متوسط و صفات با تکرار پذیری بالای ۰/۴ به عنوان صفات با تکرار پذیری بالا در نظر گرفته می‌شوند.

ویژگی های تکرار پذیری

- پارامتر جامعه است و ارزش فرد نیست.

- مقدار برآورد شده برای تکرار پذیری هر صفت در یک جامعه مختص همان جامعه است

- تکرار پذیری صفت ثابت نیست و از جمعیتی به جمعیت دیگر و از محیطی به محیط دیگر متغیّر است. در یک جامعه نیز در زمانهای مختلف (عمدتاً به دلیل تغییر شرایط محیطی و یا ورود افراد جدید به جامعه) نیز تغییر می کند.

- تکرار پذیری از لحاظ ریاضی همیشه مثبت است، دامنهٔ آن از صفر تا یک، یا بر حسب درصد از ۰٪ تا ۱۰۰٪ می‌باشد.

- تکرار پذیری حد بالای وراثت پذیری است. در شرایطی که با صفت تکرارپذیری مواجه هستیم که اثرات محیطی دائمی بر بروز آن تاثیری ندارند وراثت پذیری و تکرارپذیری آن صفت با هم برابر می شوند.

اهمیت تکرار پذیری

تکرار پذیری و حذف ژنتیکی

از تکرارپذیری می‌توان به عنوان معیاری برای تصمیم گیری در خصوص نگهداری و یا حذف حیوانات برای تکرارهای بعدی تولید استفاده کرد. به این صورت که اگر تکرارپذیری صفتی بالا باشد اولین رکورد ضعیف حیوان دلیل خوبی برای حذف ژنتیکی حیوان و عدم استفاده از آن در تکرارهای بعدی تولید می باشد ولی اگر تکرارپذیری صفتی کم باشد اولین رکورد ضعیف حیوان شاخص مناسبی برای تصمیم گیری در خصوص حذف ژنتیکی حیوان نیست و برای تصمیم گیری نهایی باید تا گرفتن رکوردهای بیشتر در تکرارهای بعدی تولید صبر کرد.

روش‌های بهبود وراثت پذیری و تکرار پذیری

در صورت بالا بودن وراثت پذیری صفتی، هر کدام از رکوردهای عملکرد، شاخص خوبی از ارزش اصلاحی واقعی حیوان می باشند. همچنین هر چه تکرار پذیری صفتی بالاتر باشد، یک رکورد منفرد شاخص خوبی از قابلیت تولید واقعی حیوانات است. وقتی وراثت پذیری بالا است، پیش بینی ارزش‌های اصلاحی صحیح‌تر، اشتباهات در انتخاب جایگزین کمتر و پیشرفت ژنتیکی سریع تر خواهد بود. وقتی تکرار پذیری بالا است، پیش بینی قابلیت تولید صحیح‌تر است و اشتباهات کمتری در حذف مرتکب خواهیم شد. برای انجام انتخاب، تا حد امکان وراثت پذیری و نیز تکرار پذیری بالا را ترجیح خواهیم داد. در ادامه برخی روشهای بهبود وراثت پذیری و تکرار پذیری به اختصار توضیح داده می شوند:

- یکنواختی محیطی

یکی از راه‌های مهم افزایش وراثت پذیری و تکرار پذیری، این است که تا حد ممکن محیط را یکنواخت نماییم. به عبارت دیگر، حیوانات را به گونه‌ای مدیریت نماییم که اثرهای محیطی بر عملکرد حیوانات مختلف تا حد ممکن یکسان باشد. بهبود شرایط محیطی سبب می گردد تا واریانس محیطی کاهش یابد. توجه داشته باشید

که حداقل نمودن تفاوت‌های محیطی به معنی ایجاد محیط بهتر نیست، بلکه به معنی ایجاد محیطی با یکنواختی بیشتر است.

- اندازه‌گیری دقیق

هر چه صفتی با دقت بیشتری اندازه گیری شود، وراثت پذیری صفت بالاتر خواهد بود. زیرا اندازه گیری دقیق، خطای اندازه گیری را کاهش می دهد و سبب کاهش واریانس فنوتیپی می گردد. مثال وزن شیر گیری در گاو گوشتی را در نظر بگیرید. اندازه گیری وزن شیرگیری در صورتی دقیق است که ترازو آزمون شود و به طور متناوب تنظیم گردد، و همهٔ گوساله‌ها در شرایط یکسانی باشند (یعنی مقدار آب و خوراک در مجرای گوارشی آنها به یک مقدار یکسان باشد). اگر این شرایط برقرار باشد، خطای اندازه گیری به حداقل رسیده و به احتمال زیاد تفاوت بین وزن‌های ثبت شده تفاوت‌های ژنتیکی واقعی را نشان می‌دهد. اگر مدفوع ریخته شده روی ترازو جمع آوری نشود و ترازو به طور متناوب تنظیم نگردد، یا اگر اولین گوساله‌ها به آب دسترسی نداشته باشند، اما گوساله‌های آخری آب فراوانی خورده باشند، خطای اندازه‌گیری وجود خواهد داشت. تفاوت در وزن‌های ثبت شده احتمالا چندان هم تفاوت‌های ژنتیکی واقعی را نشان نمی‌دهد و وراثت پذیری کاهش می‌یابد.

- تصحیح ریاضی برای اثرهای محیطی شناخته شده

با استفاده از روش‌های ریاضی میتوان فاکتورهای تصحیح را برای تصحیح اثرت محیطی شناخته شده به دست آورد و رکوردهای فنوتیپی را برای این اثرات تصحیح نمود. فاکتورهای تصحیح می‌تواند افزایشی (Additive) و یا ضربی (Multiplicative) باشند.