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. چگونه وراثت پذیری با توجه به تعریفی که در اینجا بیان شد-میزان ارتباط بین ارزش‌های فنوتیپی و ارزش‌های اصلاحی برای یک صفتمی تواند باعث شباهت (یا عدم شباهت) بین خویشاوندان شود؟

پاسخ ساده است، با این حال از یکسری استدلال نسبتاً دقیق پیروی می‌کند. نخست آن که 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 (در صورتی‌که h^2 صفر نباشد) و به شدّت تابعی از رابطهٔ خویشاوندی است. همان طور که انتظار داریم، همبستگی بین ارزش‌های اصلاحی خویشاوندان نزدیک، بیشتر از همبستگی بین ارزش‌های اصلاحی خویشاوندان دورتر خواهد بود.

طبق تعریف، وقتی وراثت پذیری بالاست، ارتباطی قوی بین عملکرد مشاهده شده و ارزش‌های اصلاحی وجود دارد و ارزش‌های 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.

با استدلالی مشابه 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 دارند و شباهت ارزش‌های اصلاحی خویشاوندان به صورت شباهت در عملکرد، مشاهده نخواهد شد.

با این طرز تفکر می‌توان مفهوم عمومی وراثت پذیری یعنی درجهٔ میزان تشابه عملکرد نتاج به والدین را مشاهده کرد که تنها یکی از تظاهرهای وراثت پذیری است. وراثت پذیری نه تنها بر شباهت بین والدین و نتاج، بلکه بر شباهت بین تمام خویشاوندان موثر است.

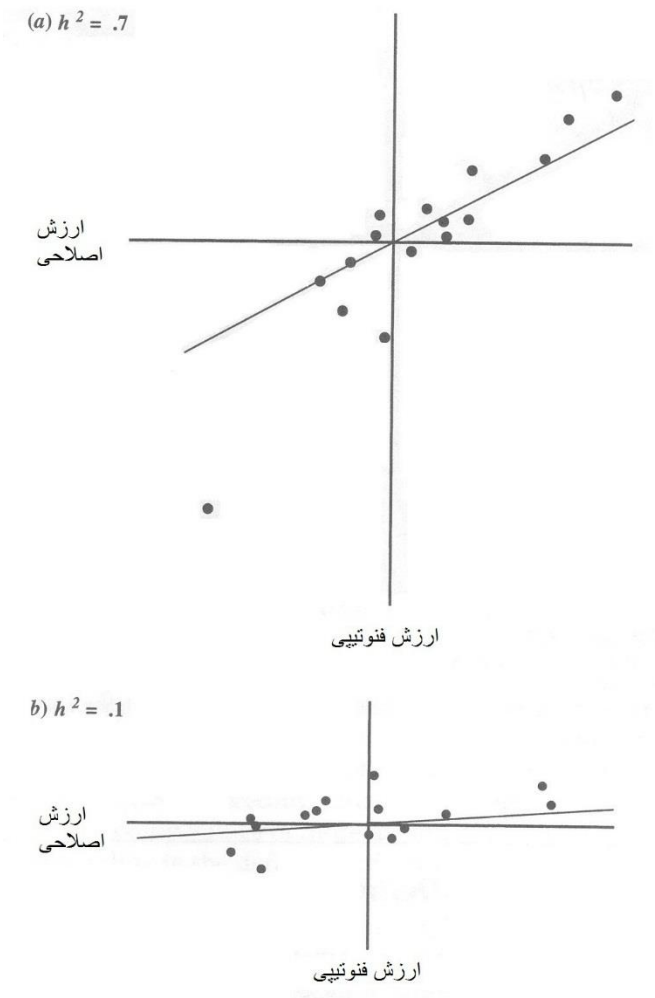
تمام روش‌های برآورد وراثت پذیری مبتنی بر اندازه گیری شباهت بین خویشاوندان است. به طور کلّی، هنگامی-که خویشاوندان از نظر یک صفت عملکرد مشابهی را از خود بروز می‌دهند، آن صفت کاملاً توارث پذیر است. وقتی‌که عملکرد خویشاوندان نسبت به عملکرد افرادی که به صورت تصادفی از جامعه انتخاب شده باشد، شباهت کمتری داشته باشد، وراثت پذیری صفت پایین است.

هر قدر شباهت بین خویشاوندان برای صفتی بیشتر باشد وراثت پذیری آن صفت بالاتر است. دو مجموعه از دوقلوهای همسان در شکل مشاهده می‌شوند. هر کدام از گوساله‌ها از نظر اندازه و شکل ظاهری به طور قابل ملاحضه‌ای به جفت دیگر خود شبیه هستند، هر دوصفت نیز وراثت پذیری بالایی دارد. در صفات با وارثت پذیری پایین‌تر از قبیل قابلیت باروری و قابلیت زنده ماندن، دو قلوها با یکدیگر شباهت کمتری دارند.

تعاریف دیگر وراثت پذیری

وراثت پذیری را می‌توان به صورت تغییر در ارزش اصلاحی مورد انتظار به ازای هر واحد تغییر در ارزش فنوتیپی در نظر گرفت. از لحاظ ریاضی، وراثت پذیری به صورت تابعیت ارزش اصلاحی بر ارزش فنوتیپی خواهد بود.

$$h^2 = b_{BV.P}$$



شیب هر خط تابعیت ($b_{BV.P}$)، وراثت پذیری را نشان می‌دهد. ضریب تابعیت مورد استفاده برای ایجاد داده‌های نمودار (a) $b_{BV.P}$=۰/۷ و برای نمودار (b) $b_{BV.P}$=۰/۱ بود.

شیب هر خط تابعیت نشان دهندهٔ وراثت پذیری است. تابعیت‌های مورد استفاده برای تولید داده-های نمودار (a) $b_{BV.P}$=۰/۷ و برای نمودار (b) $b_{BV.P}$=۰/۱ بود.

وراثت پذیری در نمودار بالایی بیشتر است، بنابراین تغییر در ارزش اصلاحی به ازای هر واحد تغییر در ارزش فنوتیپی، در نمودار بالایی نسبت به نمودار پایینی بیشتر است.

همانند ضریب تابعیت، وراثت پذیری را می‌توان برای پیش بینی ارزش اصلاحی فرد از روی ارزش فنوتیپی او به کار برد. مثال کادر بعد را ببینید.

همچنین وراثت پذیری را می‌توان به صورت نسبت واریانس‌ها در نظر گرفت که به صورت نسبت واریانس ارزش اصلاحی به واریانس ارزش فنوتیپی است، یا:

$$h^2 = \frac{\sigma^2_{BV}}{\sigma^2_P}$$

فرمول بالا رایج ترین فرمول ریاضی مورد استفاده برای وراثت پذیری بوده و از لحاظ محاسباتی بسیار پر کاربرد است. اگر بخواهیم آن را به صورت فرمول کلمه‌ای بنویسیم، چنین خواهد بود:

وراثت پذیری = نسبت تفاوت‌های موجود در عملکرد یک صفت که ناشی از تفاوت‌های ارزش اصلاحی برای آن صفت است.

به زبان ریاضی، تفاوت‌ها را با واریانس نشان می‌دهند. بنابراین نسبت تفاوت‌ها همان نسبت واریانس‌هاست. تعریف اخیر این ایده را تقویت می‌کند که وقتی وراثت پذیری صفتی بالاست، سهم بیشتری از تفاوت‌های عملکرد حیوانات ناشی از تفاوت‌های ارزش اصلاحی آنها نه ناشی از ارزش ترکیبی ژن و (یا) اثرات محیطی است. وقتی وراثت پذیری پایین است، تفاوت‌ها در عملکرد، کمتر ناشی از تفاوت‌های ارزش اصلاحی بوده و بیشتر ناشی از تفاوت‌ها در عوامل دیگر است.

مثال

واریانس‌های مربوط به وزن بدن در زمان بلوغ (MW) در جوجه‌های گوشتی به صورت زیر است:

$$\sigma^2_{P_{MW}} = ۰/۸۰ kg^2$$

و

$$\sigma^2_{BV_{MW}} = ۰/۳۶ kg^2$$

بنابراین

$$h^2_{MW} = \frac{\sigma^2_{BV_{MN}}}{\sigma^2_{P_{MN}}}$$

$$= \frac{۰/۳۶}{۰/۸۰}$$

$$= ۰/۴۵$$

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. برای انجام درست این کار، به اطلاعات صحیحی در مورد کاندیداها نیاز داریم. چون معمولاً تنها منبع اطلاعاتی در دسترس اطلاعات فنوتیپی است، میزان ارتباط بین ارزش‌های فنوتیپی و ارزش‌های اصلاحی (یعنی وراثت پذیری) بسیار با اهمیت 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 عنوان مثال، حیوانات بر اساس سلامت فیزیکی خود انتخاب (یا حذف) خواهند شد. به طور کلّی، هنگامی که وراثت پذیری صفتی پایین باشد، ارزش‌های فنوتیپی اطلاعات کمی را دربارۀ ارزش‌های اصلاحی نشان می‌دهند، بنابراین تعیین حیوانات با بهترین ارزش‌های اصلاحی به عنوان بهترین والدین بالقّوه، مشکل است.در این حالت، صحت انتخاب[1] 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.

وقتی اطلاعات مورد استفاده جهت تصمیم گیری برای انتخاب، محدود به عملکرد خود دام نباشد، وضعیت تا حدودی متفاوت می شود. از مزایای استفاده از اطلاعات شجره و (یا) نتاج آن است که در صورت پایین بودن وراثت پذیری، لزوما صحت انتخاب کاهش نمی‌یابد. با وجود این، خواه این اطلاعات مربوط به عملکرد خود دام و یا مربوط به عملکرد خویشاوندان باشد، هنوز هم این اطلاعات عملکردی ارزش‌های فنوتیپی هستند و ارتباط بین ارزش‌های فنوتیپی و ارزش‌های اصلاحی مثل همیشه مهم است. 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.

[1] Accuracy of selection

وراثت پذیری و پیش بینی

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 این دلیل است که وراثت پذیری میزان محافظه کارانه بودن یک پیش بینی را نشان می دهد.

به عنوان مثال، فرض کنید که می‌خواهیم براساس تعداد توله‌های اولین زایش یک خوک، ارزش اصلاحی او را برای تعداد خوک‌های 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 خوک‌های از شیر گرفته و ارزش اصلاحی پاین صفت، خیلی ضعیف است. با آگاهی از آن، ارزش اصلاحی برآوردی بسیار منفی را در این خوک در نظر نمی‌گیرید. EBV این خوک ماده باید زیر میانگین باشد اما به علت وراثت پذیری پایین صفت، درست نیست که EBV این خوک را تنها براساس یک رکورد فنوتیپی بسیار کمتر از میانگین فرض کنیم. در این حالت روش عاقلانه پیش بینی، روش محافظه کارانه می‌باشد.

برعکس حالت فوق، فرض کنید می‌خواهیم ارزش اصلاحی درصد چربی شیر گاوی شیرده را پیش بینی کنیم که در اولین دورهٔ شیر دهی خود چربی بسیار پایینی داشته است. وراثت پذیری درصد چربی بسیار بالا (تقریبا ۰/۵۵) است. با علم به این که درصد چربی شیر عموما شاخص نسبتا مناسبی برای ارزش اصلاحی صفت است، نسبت به مثال تعداد توله در هر زایش می توانیم از روش کم محافظه کارانه‌ای استفاده کنیم. EBV گاو برای درصد چربی باید به طور قابل ملاحظه‌ای زیر میانگین باشد.

وراثت پذیری و مدیریت

وراثت پذیری نشان می‌دهد که چقدراز تفاوت‌های عملکردی حیوان برای صفتی را عوامل قابل توارث در مقابل عوامل محیطی کنترل می‌کنند. برای صفات با توارث پذیری بالا، تفاوت بین ارزش‌های اصلاحی حیوانات، تاثیر زیادی در عملکرد داشته و تفاوت‌های محیطی، اهمیت کمتری دارند. عکس این حالت برای صفات با توارث پذیری پایین صادق است. بنابراین به عنوان یک قانون، تولیدکنندگان 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 تولید کنندگان در اکثر مواقع برای تغییر ژنتیکی این صفات به جای به کارگیری انتخاب تا حدودی از طریق مدیریت عملکرد را بهبود می‌دهند.

به عنوان مثال، صفات مربوط به رشد، وارثت پذیری بالایی دارند و بهبود این دسته از صفات از طریق انتخاب آسان است و بنابراین پرورش دهندگان نیز به این صورت عمل می‌کنند. از طرف دیگر، صفات باروری معمولاًوراثت پذیری پایینی دارند و پرورش دهندگان برای بهبود ژنتیکی این گونه صفات به جای تاکید بر روی انتخاب از روش‌های مدیریتی همانند تغذیه مناسب استفاده می‌کنند.

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 نحوهٔ 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. فناوری مدرن پیش بینی ژنتیکی، امکان بهبود صفات با توارث پذیری پایین را نیز فراهم می‌کند که به تفصیل در مباحث پیش رو بررسی خواهند شد.

تکرار پذیری

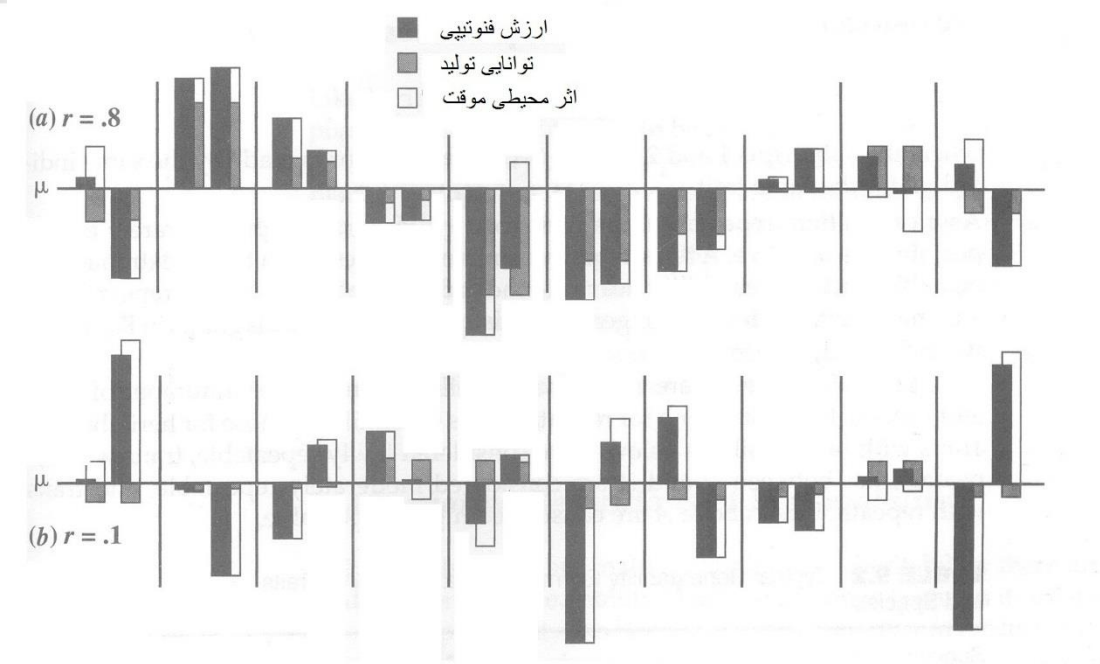
تکرار پذیری[۲] استحکام رابطه (ثابت و قابل اعتماد) بین رکوردهای تکراری (ارزش‌های فنوتیپی تکراری) یک صفت در جمعیت است.[۳]تکرارپذیری را می‌توان برای هر صفتی با بیش از یک رکورد عملکرد در افراد تعیین نمود. میزان تولید شیر در حیوانات شیری، عملکرد شرکت در مسابقه و حرکات نمایشی در اسب‌ها، تعداد توله در هر زایش در خوک و وزن پشم ناشور در گوسفند مثال‌هایی از صفات تکرار شده هستند. تکرار پذیری با علامت r، نشان داده می‌شود.

مفهوم تکرار پذیری به صورت نمودار در شکل زیر نشان داده شده است. در هر دو نمودار بالایی (a) و پایینی (b)، نمونه‌ای شامل ۱۰ جفت رکورد نمایش داده شده است (برای وضوح مطلب، هر جفت با خطوط عمودی از هم تفکیک شده‌اند). هر جفت رکورد، نشان دهندهٔ دو رکورد عملکردی برای یک صفت در فرد می باشند و

[2]Repeatability

[۳]در نشریه‌های گاو شیری، تکرارپذیری تا حدودی متفاوت است و در متون مربوط به گاو شیری به صحّت پیش بینی اشاره دارد.

رکورد های ۱۰ فرد در هر نمودار آورده شده است. مشارکت قابلیت تولید و اثر محیطی موقت برای هر کدام از رکوردها در زمینه نشان داده شده است. توجه داشته باشید که در هر فرد، فقط اثر محیط موقت از یک رکورد به رکورد دیگر تغییر می‌کند. همان طورکه به خاطر دارید، قابلیت تولید از اثرهای دایمی شامل ارزش اصلاحی، ارزش ترکیبی ژن و اثر محیطی دایم تشکیل شده است.



نمایش شماتیک عملکرد حیوان برای دو صفت با تکرار پذیری متفاوت. در هر مورد، جفت رکوردهای تکرار شده برای ۱۰ نمونه حیوان نشان داده شده است (برای وضوح بیشتر، جفت رکوردها با خطوط عمودی از هم جدا شده‌اند). مشارکت قابلیت تولید و اثرهای محیطی موقّت در زمینه نشان داده شده است. تکرار پذیری (r) برای صفات نشان داده شده در نمودارهای بالایی (a) و پایینی (b)، به ترتیب ۰/۸ و ۰/۱ می باشد.

صفتی که در نمودار بالایی ارائه شده، بسیار تکرار پذیر است. اگر 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، صفت ارائه شده در نمودار پایینی تکرار پذیری کمی دارد. اگر اوّلین رکورد بالاتر یا پایین‌تر از میانگین باشد بدین معنی نیست که دومین رکورد نیز به ترتیب بالاتر یا پایین‌تر از میانگین می‌باشد. به نظر می‌رسد که

ارتباط کمی بین اولین و دومین رکورد فرد وجود دارد. تفسیر دیگر این است که وقتی تکرار پذیری بالا است (a)، به طور میانگین اولین رکورد حیوان شاخص خوبی از دومین رکوردش خواهد بود و وقتی تکرار پذیری صفتی پایین است (b)، به طور معمول رکورد اول شاخص خوبی برای رکورد دوم نیست.

میزان استحکام رابطه (ثابت و قابل اعتماد) بین رکوردهای عملکرد یک صفت (ارزش‌های فنوتیپی) و قابلیت تولید برای صفتی در جمعیت، تعریف دوم و کاربردی تکرار پذیری است. در نمودار بالایی، رکوردهای عملکرد بالای میانگین به طور پایداری با قابلیت‌های تولید بالاتر از میانگین و رکوردهای عملکرد پایین‌تر از میانگین نیز به طور پایداری با قابلیت‌های تولید پایین‌تر از میانگین مرتبط هستند، و مقدار رکوردهای عملکرد حیوان اغلب با مقدار قابلیت‌های تولید آن متناسب است. بنابراین تکرار پذیری صفت نشان داده شده در نمودار بالایی، زیاد است. اما در نمودار پایینی، به نظر می‌رسد که ارتباط بین رکوردهای فنوتیپی و قابلیت‌های تولید، کم است بنابراین تکرار پذیری این صفت کم می‌باشد.

وقتی تکرار پذیری زیاد است، می توان گفت که 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.

هر دو تعریف تکرار پذیری(۱) میزان استحکام رابطه بین رکوردهای تکراری و (۲) میزان استحکام رابطه بین یک رکورد عملکردی و قابلیت تولیدنشان می دهند که 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.

دامنهٔ تکرار پذیری از صفر تا یک است. تکرار پذیری نزدیک به یک نشان دهندهٔ تکرار پذیری بسیار بالای صفت و تکرار پذیری نزدیک به صفر نشان دهندهٔ عدم تکرارپذیری صفت است. تکرار پذیری مورد استفاده برای رسم نمودارهای بالایی و پایینی شکل ۴-۹ به ترتیب ۰/۸ و ۰/۱ می‌باشد.

در جدول زیر نمونه‌ای از برآوردهای تکرار پذیری برای تعدادی از صفات و گونه‌ها فهرست شده است. قاعدهٔ عملی تکرار پذیری مشابه وراثت پذیری است. 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.

جدول مربوط به نمونه‌ای از برآوردهای تکرار پذیری برای تعدادی از صفات و گونه‌ها

گونه	صفت	R
گاو گوشتی	تاریخ زایش (صفت مادری)	۰/۳۵
	وزن تولد (صفت مادری)	۰/۲۰
	وزن شیرگیری (صفت مادری)	۰/۴۰
	معیارهای مربوط به بدن	۰/۸۰
گاو شیرده	تعداد تلقیح برای هر آبستنی	۰/۱۵
	فاصله گوساله‌زایی	۰/۱۵
	تولید شیر	۰/۵۰
	% چربی	۰/۶۰
	لیگمان نگهدارندهٔ پستان	۰/۵۰
	ترتیب قرارگیری نوک پستان‌ها بر روی پستان	۰/۵۵
	نحوهٔ قرارگیری پاهای عقبی	۰/۳۰
	قد و قامت	۰/۷۵
اسب	زمان یک چهارم مایل دویدن	۰/۳۲
	زمان یک مایل دویدن	۰/۵۷

	زمان یک مایل یورتمه رفتن	۰/۳۹
	زمان یک مایل قدم پا رفتن	۰/۴۵
	امتیاز حذف	۰/۲۲
خوک	تعداد توله در هر زایش (تعداد زنده متولد شده)	۰/۱۵
	تعداد توله در هر زایش (تعداد از شیر گرفته شده)	۰/۱۰
	وزن تولّد	۰/۳۰
	وزن شیرگیری	۰/۱۵
	وزن توله‌ها در ۲۱ روزگی	۰/۱۵
طیور	وزن تخم مرغ	۰/۹۰
	شکل تخم مرغ	۰/۹۵
	ضخامت پوسته	۰/۶۵
	وزن پوسته	۰/۷۰
گوسفند	تعداد بره در هر زایش	۰/۱۵
	وزن تولد (صفت مادری)	۰/۳۵
	وزن شیر گیری در ۶۰ روزگی (صفت مادری)	۰/۲۵
	وزن پشم ناشور	۰/۴۰
	درجهٔ پشم	۰/۶۰
	طول استاپل	۰/۶۰

تصوّرات نادرست معمول در مورد تکرار پذیری

تکرار پذیری نیز همانند وراثت پذیری، فراسنجهٔ جمعیتی و از ویژگی های صفت در جمعیت است. تکرار پذیری ارزش مربوط به یک حیوان نیست. در مورد تکرار پذیری عملکرد شرکت در مسابقه در اسب‌ها یا تکرار پذیری

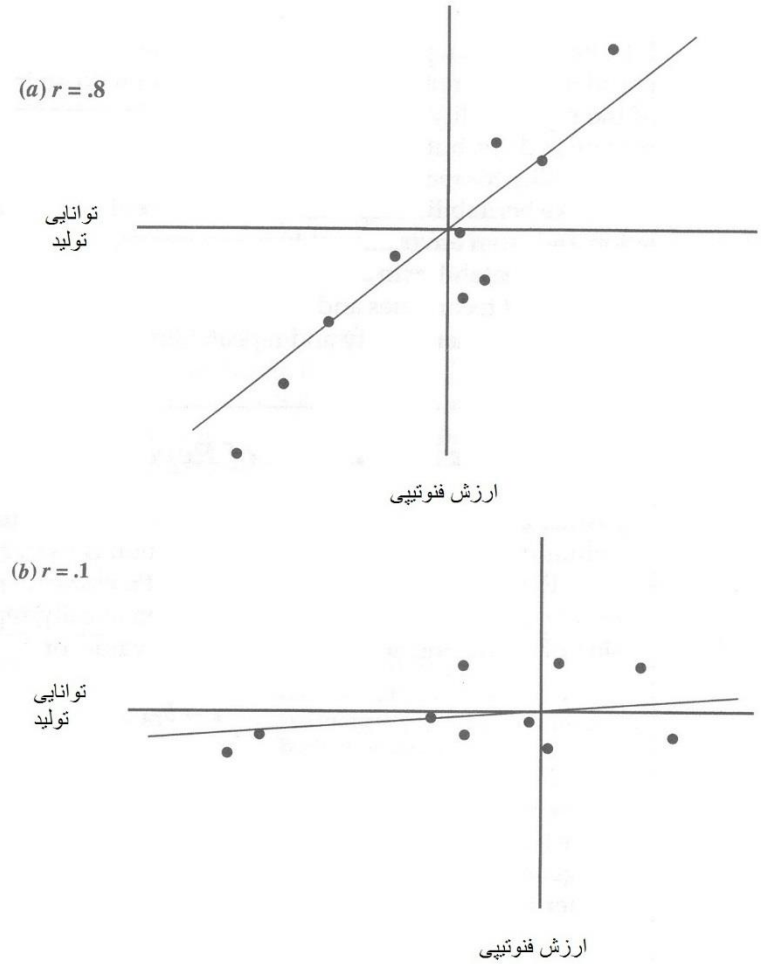
پیدا کردن افراد زیر آوار توسط سگ‌ها صحبت می‌کنیم، در حالی‌که، بحث در مورد تکرار پذیری عملکرد شرکت در مسابقه یک اسب خاص، یا تکرار پذیری پیدا کردن افراد زیر آوار در یک سگ خاص نادرست است.

تعاریف دیگر تکرار پذیری

تکرار پذیری نیز مانند وراثت پذیری تعاریف دیگری دارد[1] و هر تعریف نیز به نوبهٔ خود دارای کاربرد خاصی است.

تکرار پذیری را می‌توان به صورت تغییر قابلیت تولید مورد انتظار به ازای هر واحد تغییر در ارزش فنوتیپی در نظر گرفت. از لحاظ ریاضی، تکرار پذیری تابعیت قابلیت تولید بر ارزش فنوتیپی است ، یا:

$$r = b_{PA.P}$$



در شکل بالا شیب هر خط تابعیت، تکرار پذیری را نشان می‌دهد ($b_{PA.P}$). تابعیت‌های مورد استفاده برای ایجاد نمودارهای (a) و (b) به ترتیب $b_{PA.P}$=۰/۸ و $b_{PA.P}$=۰/۱ می‌باشند. تکرار پذیری در نمودار بالایی بیشتر است،

بنابراین به ازای یک واحد تغییر در ارزش فنوتیپی، در نمودار بالایی نسبت به نمودار پایینی تغییر بیشتری در قابلیت تولید ایجاد می‌گردد.

همانند ضریب تابعیت، تکرار پذیری را نیز می‌توان جهت پیش گویی قابلیت تولید فرد از روی ارزش فنوتیپی آن به کار برد. به مثال کادر بعدی توجه کنید.

تکرار پذیری را نیز می‌توان به صورت نسبت واریانس‌ها در نظر گرفت که به صورت نسبت واریانس قابلیت تولید به واریانس ارزش فنوتیپی است، یا

$$r = \frac{\sigma_{PA}^2}{\sigma_P^2}$$

اگر بخواهیم فرمول ذکر شده را به صورت عبارت بنویسیم، داریم:

تکرار پذیری= نسبت تفاوت‌های عملکرد یک صفت که بتوان به تفاوت‌های قابلیت تولید آن صفت نسبت داد.

در این جا نیز تفاوت‌ها با واریانس نشان داده اند و نسبت تفاوت‌ها به صورت نسبت واریانس‌ها است. طبق این تعریف وقتی تکرار پذیری زیاد است، بخش بیشتری از تفاوت‌های عملکرد حیوانات به تفاوت در قابلیت تولید (نه تفاوت در اثرهای محیط موقت) مربوط می‌شود. وقتی تکرارپذیری پایین است، میزان کمتری از تفاوت در عملکرد را می‌توان به تفاوت در قابلیت تولید نسبت داد و بیشتر این تفاوت ها در اثر تفاوت اثرهای محیط موقت ایجاد می‌شوند.

مثال

واریانس صفت امتیاز حذف (CS) در اسب‌ها به صورت زیر است:

$$\sigma_{P_{\mathrm{cs}}}^2 = \text{امتیاز ۱۰۶مربع}$$

و

$$\sigma_{PA_{\mathrm{cs}}}^2 = \text{امتیاز ۲۳مربع}$$

بنابراین:

$$r_{\mathrm{cs}} = \frac{\sigma_{PA_{\mathrm{cs}}}^2}{\sigma_{P_{\mathrm{cs}}}^2}$$

$$= \frac{۲۳}{۱۰۶}$$

$$= ۰/۲۲$$

وقتی وراثت پذیری و تکرار پذیری به صورت نسبت واریانس‌ها بیان می‌شود، می‌توان رابطهٔ بین دو پارامتر را مشاهده کرد.

$$h^2 = \frac{\sigma^2_{\mathrm{BV}}}{\sigma^2_{\mathrm{P}}}$$

و

$$= \frac{\sigma^2_{\mathrm{PA}}}{\sigma^2_{\mathrm{P}}}$$

$$= \frac{\sigma^2_{\mathrm{BV}} + \sigma^2_{\mathrm{GCV}} + \sigma^2_{\mathrm{E_p}}}{\sigma^2_{\mathrm{P}}}$$

$$= \mathrm{h}^2 + \frac{\sigma^2_{\mathrm{GCV}} + \sigma^2_{\mathrm{E_p}}}{\sigma^2_{\mathrm{P}}}$$

حداقل مقدار تکرار پذیری (تقریبا در تمام موارد) برابر با وراثت پذیری است و اغلب تکرار پذیری را حدّ بالای وراثت پذیری در نظر می‌گیرند.

تعاریف تکرارپذیری که در ادامه توضیح داده خواهد شد، به طور معمول قابلیت اعتماد است. در اکثر حالات، تکرارپذیری برابر با: $r = r^2{}_{P,PA} = b_{PA,P} = \frac{\sigma^2_{PA}}{\sigma^2_P}$

تنها زمانی که قابلیت تولید با اثرهای محیطی موقت و اثرهای محیطی موقت با خودشان همبستگی داشته باشند (با توجه به پاورقی قبلی)، این تعاریف نادرست است. اگر $r = r_{P1,P2}$ باشد، این مورد همواره صحیح خواهد بود.

تکرار پذیری نیز همانند وراثت پذیری ثابت نیست و از جمعیتی به جمعیت دیگر و از محیطی به محیط دیگر متغیر می‌باشد. عوامل موثر در وراثت پذیری اغلب به طور مشابه روی تکرارپذیری نیز تاثیر می‌گذارند.