

کوواریانس ژنوتیپ و محیط

ژنوتیپ های مختلف وقتی در محیطهای مختلف قرار می گیرند عکس العملهای متفاوتی نشان می دهند که از آن به عنوان کوواریانس ژنوتیپ و محیط یاد می شود. به عنوان مثال گاوهای نژاد هلشتاین در شرایط محیطی گرمسیری عملکرد متفاوتی با شرایط محیطی سردسیری دارند. کوواریانس ژنوتیپ و محیط با اثر متقابل ژنوتیپ و محیط تفاوت دارد. از لحاظ آماری اثر متقابل ژنوتیپ و محیط از جنس میانگین است ولی کوواریانس ژنوتیپ و محیط از جنس واریانس است. اثر متقابل ژنوتیپ محیط قابل تغییر نیست ولی کوواریانس ژنوتیپ و محیط قابل تغییر است در واقع می توان میتوان با فراهم کردن شرایط محیطی بهتر برای ژنوتیپ های برتر بین ژنوتیپ و محیط کوواریانس مثبت ایجاد کرد.

مدل ژنتیکی صفات کمی

وظیفه متخصص اصلاح دام در انتخاب برای صفات با توارث ساده، شناسایی ژنوتیپهای افراد برای جایگاههای مورد نظر و انتخاب افرادی با مطلوبترین ژنوتیپها است. کار متخصص اصلاح نژاد در انتخاب برای صفات چند ژنی نیز مشابه آن است، اما با این تفاوت که تعیین ژنوتیپها مد نظر نیست. در عوض، اصلاح گر سعی می کند که تا ارزش اصلاحی افراد را برای صفات مهم تعیین نماید و افراد دارای بهترین ارزش های اصلاحی را انتخاب کند. ژنوتیپ یک فرد برای صفتی با توارث ساده، هر چند که قابل مشاهده یا قابل لمس نیست، به نسبت ملموس است. به عنوان مثال، می دانیم که اگر سگ نر لابرادور سیاه، توله های شکلاتی و زرد داشته باشد، ژنوتیپ رنگ پوشش بدن آن BbEe است.

برای درک بهتر ارزشهای اصلاحی و مفاهیم مربوط به آن، به مدل ریاضی نیازمندیم- مدل ریاضیاتی چهار چوب مفهومی است که تعاریف به طور منطقی بر اساس آنها ارائه می گردد. این مدل (یعنی مدل ژنتیکی برای صفات کمی) موضوع این فصل است.

مدل ژنتیکی صفات کمی، همان گونه که از نام آن بر می آید، برای صفات کمی طراحی شده است: صفاتی که بروز فنوتیپها به صورت پیوسته (عددی) است. شاخه ای از علم ژنتیک که درباره مدل ژنتیکی صفات کمی و کاربردهای آن بحث می کند، ژنتیک کمی¹ نامیده می شود. ژنتیک کمی در مورد اثرات صفات، اندازه گیری، روابط

¹Quantitative genetics

بین آنها، پیش بینی ژنتیکی برای آنها و میزان تغییر در صفات کمی یا صفاتی بحث می‌کند که می‌توان آن‌ها را کمی در نظر گرفت.

مدل پایه

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

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

که p : ارزش فنوتیپی^۲ یا عملکرد فرد برای یک صفت،

μ : (به زبان یونانی به صورت μ) میانگین جمعیت^۳ یا میانگین ارزش فنوتیپی صفت برای همه افراد جمعیت

G : ارزش ژنوتیپی^۴ فرد برای صفت، و

E : اثر محیطی^۵ بر عملکرد فرد برای صفت.

ارزش فنوتیپی رکورد عملکرد 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 اندازه‌گیری نیست. اثر محیطی شامل همه عوامل غیر ژنتیکی موثر بر عملکرد فرد برای یک صفت می‌باشد.

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

مثال‌هایی از مدل پایه برای صفات کمی به صورت نمودار در شکل ۸ نشان داده شده است. وزن‌های از شیرگیری (ارزش‌های فنوتیپی) برای ۳ گوساله به صورت ستون‌های سیاه پررنگ در شکل مشخص شده است.

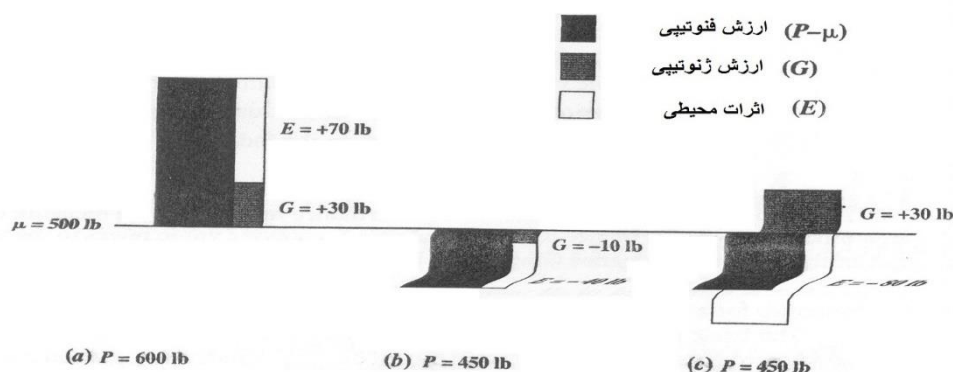
² Phenotypic value

³ Population mean

⁴ Genotypic value

⁵ Environmental effect

این ستون‌ها از خطی که نشان دهنده میانگین وزن شیر گیری-با میانگین ۵۰۰ پوند- در جمعیت است منشعب شده‌اند. ستون سیاه امتداد یافته در بالای خط، وزن شیرگیری بالاتر از میانگین جمعیت، و ستون‌های سیاه زیر خط وزن شیرگیری پایین‌تر از میانگین جمعیت را نشان می‌دهند.



شکل ۸- نمایش شماتیک مشارکت‌های ژنتیکی و محیطی در وزن شیرگیری سه گوساله. گوساله (a) با وزن ۶۰۰ پوند (۱۰۰ پوند بالاتر از میانگین)، ارزش ژنوتیپی (G) بالاتر از میانگین دارد و تحت تاثیر محیط (E) بهتری نسبت به میانگین قرار گرفته است. وزن شیرگیری گوساله (b) ۴۵۰ پوند است (۵۰ پوند پایین‌تر از میانگین) و ارزش ژنوتیپی پایین‌تر از میانگین دارد و در معرض محیط بدتر از میانگین قرار گرفته است. همچنین وزن شیر گیری گوساله (c)، ۴۵۰ پوند است. ارزش ژنوتیپی آن برای وزن شیر گیری بالاتر از میانگین می‌باشد اما به علت محیط خیلی نامساعد، عملکرد واقعی او پایین‌تر از میانگین است.

ستون‌های خاکستری و سفید موجود در "زمینه"، سهم ژنوتیپ و محیط را در هر رکورد عملکردی نشان می‌دهد. این ستون‌ها به ترتیب ارزش‌های ژنوتیپی و اثرهای محیطی را مشخص می‌دهند. (این مثالی فرضی برای توضیح مطلب است. البته در حقیقت، نمی‌توان به ارزش ژنوتیپی فرد یا اثر محیطی پی برد. تنها ارزش فنوتیپی فرد را می‌توان به صورت مستقیم اندازه گیری نمود.) توجه کنید که بعضی از ستون‌های نشان دهنده ارزش‌های ژنوتیپی و اثرهای محیطی در بالای خط و برخی زیر خط قرار گرفته‌اند، و ستون‌های بالای خط مقادیر مثبت و ستون‌های زیر خط مقادیر منفی دارند. به علت آن است که این ارزش‌ها به صورت انحراف از میانگین جمعیت بیان شده‌اند. انحراف مثبت به معنی بزرگ‌تر از میانگین؛ و انحراف منفی به معنی کوچک‌تر از میانگین می‌باشد.

به عنوان مثال، گوساله (a) با وزن ۶۰۰ پوند ارزش فنوتیپی بالاتر از میانگین دارد. وزن شیرگیری ۱۰۰ پوند بالاتر از میانگین در این گوساله تا حدودی ناشی از میانگین ارزش ژنوتیپی بالاتر است. این گوساله از نظر ژنتیکی برای وزن شیرگیری ۳۰ پوند بالاتر از میانگین است. همچنین اثر محیطی بهتر از میانگین - تقریباً به ارزش ۷۰ پوند - را تجربه کرده است. به طور مثال ممکن است مادرش به طور ویژه شیر خوبی تولید کرده باشد.

وزن هر دو گوساله (b) و (c) ۴۵۰ پوند - ۵۰ پوند پایین تر از میانگین - است. گوساله (b) ارزش ژنوتیپی کمتری از میانگین دارد و در معرض شرایط محیطی بدتر از میانگین قرار گرفته است. از طرف دیگر، گوساله (c) از نظر ژنتیکی بهتر از میانگین است، اما در شرایط محیطی خیلی نا مساعدی قرار گرفته است. احتمالاً دچار بیماری شده یا تولید شیر مادرش خیلی کم بوده است.

مدل پایه برای صفات کمی چیزی فراتر از ارائه نمایش ریاضی نحوه تاثیر ژنتیک (G) و محیط (E) بر عملکرد (P) نیست. با این حال، یادآوری برخی ویژگی‌های مدل اهمیت دارد. نخست، مدل سهم ژنتیک و محیط را برای یک رکورد منفرد از یک حیوان نشان می‌دهد. برای هر رکورد، مقادیر عددی P، G و E به صورت دقیق وجود دارد - هرچند که لزوماً قابل مشاهده نیستند. ارزش در متون اصلاح دام به این معنی است که برای افراد درون یک جمعیت به کار می‌رود. از ارزش فنوتیپی یک گوساله خاص برای وزن شیر گیری یا ارزش ژنوتیپی یک خوک خاص برای تعداد تولد در یک زایش صحبت می‌کنیم.

نکته دوم، این ارزش‌ها برای هر صفت ویژه هستند. ارزش ژنوتیپی یک خوک در همه موارد چیزی کلی نیست - ارزش ژنوتیپی حیوان برای صفت ویژه تعداد خوک متولد شده است.

نکته سوم، به دلیل آنکه G و E به صورت انحراف از میانگین بیان می‌شوند، میانگین ارزش‌های ژنوتیپی و اثرهای محیطی همه افراد در یک جمعیت برابر با صفر است (هنگامی که تمام انحرافات در فرآیند میانگین گیری با هم جمع می‌شوند، انحرافات منفی، مثبت‌ها را از بین می‌برند و مجموع و میانگین‌ها صفر می‌شوند). در اصطلاح آماری، علامت خط بالای متغیر نشان دهنده میانگین می‌باشد. بنابراین

$$\bar{G} = \bar{E} = 0$$

نکته آخر این که، G و E به صورت مستقل از یکدیگر در نظر گرفته می‌شوند. به این معنی که ژنوتیپ فرد بر روی اثر محیطی که فرد در معرض آن قرار می‌گیرد هیچ گونه تاثیری ندارد و برعکس. به عنوان مثال، ارزش ژنوتیپی گوساله برای وزن شیرگیری در زمان آبستنی تعیین شده است که به هیچ عنوان تحت تاثیر محیط قبل از شیر گیری نیست. همچنین، اگر همه گوساله‌ها در یک جمعیت بدون در نظر گرفتن پتانسیل ژنتیکی آنها

برای وزن شیر گیری در معرض محیط مشابهی باشند، بنابراین محیط قبل از شیرگیری از ارزش ژنتیکی مستقل خواهد بود. فرض استقلال ژنوتیپ و محیط برای حفظ سادگی مدل ضروری است و در اکثر موارد فرض صحیحی است. اما در برخی موارد این فرض نقض می‌شود. به عنوان مثال، گاوهای شیری با پتانسیل ژنتیکی بالا برای تولید شیر به طور معمول بیشتر از گاوهای با پتانسیل پایین تر تغذیه می‌شوند، و اسب‌های مسابقه که قابلیت ژنتیکی بهتری برای مسابقه دادن دارند، اغلب بهتر از میانگین آموزش می‌بینند. لذا مدلی به سادگی مدل ژنتیکی پایه برای این موارد مناسب نیست.

ارزش اصلاحی بخشی از ارزش ژنوتیپی قابل انتقال از والدین به نتاج است. بخش باقی مانده ارزش ژنوتیپی را ارزش ترکیبی ژن (GCV)⁶ می‌نامند. ارزش ترکیبی ژنی بخشی از ارزش ژنوتیپی فرد برای یک صفت است که به دلیل اثرات ترکیبی ژن⁷ (غالبیت و اثر متقابل ژن ها) می‌باشد. به دلیل آنکه ژن‌های افراد در طی میوز تفرق 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.

$$G=BV+GCV$$

برای مشاهده مثال عددی نحوه وابستگی اثرات مستقل ژنی و اثرات ترکیبی ژن به معادله فوق، جایگاه T را در نظر بگیرید، یک جایگاه فرضی بر روی تعداد توله‌های خوک در هر زایش موثر است. برای سادگی فرض کنید که حیوانات این مثال در همه جایگاه‌های دیگر موثر بر تعداد توله در هر زایش مشابه هستند. همچنین فرض کنید که اثر مستقل ژن T برابر با +0/1 خوک و اثر مستقل ژن t برابر با -0/1 خوک است و T نسبت به t غلبه کامل دارد.

به علت غلبه کامل در جایگاه T، افراد هموزیگوت غالب (TT) و هتروزیگوت (Tt)، برای صفت تعداد توله در هر زایش ارزش ژنوتیپی یکسانی دارند. با این وجود، ارزش‌های اصلاحی آنها متفاوت است، زیرا احتمال انتقال آلل مطلوب به نتاج در ژنوتیپ TT بیشتر از ژنوتیپ Tt است. تفاوت بین ارزش ژنوتیپی و ارزش اصلاحی (G - BV) در حیوان هتروزیگوت، ارزش ترکیب ژنی است که در این مورد 0/2 خوک است.

⁶Gene combination value (GCV)

⁷Gen combination effects

در مثال جایگاه T، تمام اثر ترکیبی ژن ناشی از غلبه است. با مثالی از چندین جایگاه می‌توان اثر مشابه ناشی از اپی ستازی را نشان داد. هر چند به طور کلی معتقدیم که غلبه علت اصلی اثرهای ترکیبی ژن است، اما ارزش ترکیبی ژن احتمالاً نتیجه ارتباط کاملاً پیچیده غلبه و اپیستازی بین ژن‌ها است.

اثرهای ترکیبی ژن مانند اثرهای مستقل ژنی، افزایشی نیستند و نمی‌توان به آسانی 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:

$$GCV_{\text{نتاج}} \neq \frac{1}{2} GCV_{\text{پدر}} + \frac{1}{2} GCV_{\text{مادر}}$$

اثرات ترکیبی ژن غیر افزایشی هستند از این رو اثرهای ترکیبی ژن را معمولاً اثرهای ژنی غیر افزایشی^۸، و ارزش ترکیبی ژن را به طور معمول ارزش ژنتیکی غیر افزایشی^۹ یا به طور ساده ارزش غیر افزایشی^{۱۰} گویند.

برخلاف ارزش‌های اصلاحی، ارزش های ترکیب ژنی افراد قابل پیش بینی نیستند. گذشته از این‌ها، ارزش ترکیبی ژن از والدین به نتاج منتقل نمی‌شود. دانستن ارزش‌های اصلاحی تا حد زیادی به ما در انتخاب کمک می‌کند، 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. برتری آمیخته گری و افت هم خونی دقیقاً نام‌های دیگری برای ارزش مطلوب و نامطلوب ترکیبی ژن هستند. اهمیت ویژه ارزش ترکیبی ژن به این بستگی دارد که شما پرورش دهنده گله مولد یا گله تجاری باشید. پرورش دهندگان گله مولد، پتانسیل اصلاحی حیوانات را می‌فروشند، بنابراین ارزش اصلاحی دغدغه اصلی آنها است. پرورش دهندگان گله تجاری عملکرد حیوانات را می‌فروشند و ارزش ترکیبی ژن به میزان مشارکت آن در عملکرد دغدغه این پرورش دهندگان است.

⁸Nonadditive gene effects

⁹Nonadditive gene value

¹⁰Nonadditive value

ارزش اصلاحی

در انتخاب برای صفات چند ژنی، متخصصین اصلاح دام سعی می‌کنند افرادی با بهترین مجموعه ژنی-افرادی با بهترین ارزش اصلاحی^{۱۱}- را انتخاب کنند. در این جا ارزش اصلاحی (BV) به عنوان ارزش والدینی-ارزش یک فرد به عنوان مشارکت دهنده ژن‌ها به نسل بعد- تعریف شده است. اما ارزش اصلاحی برای صفات کمی در مدل پایه $(P=\mu+G+E)$ نمایان نیست. در واقع، تنها مولفه ژنتیکی حقیقی در مدل، ارزش ژنوتیپی (G) است. ممکن است این سوال پیش آید که آیا متخصصین اصلاح دام باید حیواناتی با بهترین ارزش‌های ژنوتیپی را به عنوان جایگزین انتخاب کنند. یا به عبارت دیگر، آیا ارزش اصلاحی و ارزش ژنوتیپی با هم مشابه هستند. پاسخ منفی است. ارزش ژنوتیپی، نشان دهنده اثر همه ژن‌های یک فرد است، در حالی که ارزش اصلاحی تنها بخشی از ارزش ژنوتیپی قابل انتقال از والد به نتاج را نشان می‌دهد. برای درک بهتر تفاوت بین ارزش اصلاحی و ارزش ژنوتیپی، مثال یک جایگاه فرضی را در نظر بگیرید.

فرض کنید جایگاه B یکی از چندین جایگاه موثر بر وزن بلوغ است. دو آلل ممکن B و b در این جایگاه وجود دارند. میانگین اثر هر ژن B، افزایش ۱۰ گرم بر وزن بلوغ و میانگین اثر هر ژن b، کاهش ۱۰ گرم از وزن بلوغ است (این مقادیر ممکن است ناچیز به نظر بیایند، اما به خاطر داشته باشید که وزن بلوغ یک صفت چند ژنی است، اثرات انفرادی ژن‌ها در صفات چند ژنی کوچک در نظر گرفته می‌شوند). این اثرهای ژنی ۱۰ گرمی به عنوان اثرهای مستقل ژنی^{۱۲} شناخته می‌شوند. آنها ارزش هر ژن را به صورت مستقل از اثر ژن‌های دیگر در همان جایگاه (غلبه) و جایگاه‌های دیگر (اپی‌ستازی) منعکس می‌کنند. به عبارت دیگر، اثر هر ژن مستقل، ارزش ذاتی ژن را نشان می‌دهد که در صورت در نظر گرفتن آن به طور مجزا اندازه‌گیری می‌گردد.

ارزش اصلاحی حیوان برای وزن بلوغ به طور ساده مجموع اثرهای مستقل ژن‌های حیوان در جایگاه B و جایگاه-های دیگر موثر بر وزن بلوغ است. دلیل آن این است که والدین نیمی از نمونه ژن‌های خود (یک ژن از هر جفت ژن در یک جایگاه) را به نتاج منتقل می‌کنند. هر دو ژن از یک جایگاه، و ترکیبات دست نخورده ژن‌ها از جایگاه‌های مختلف (به عنوان یک قانون) منتقل نمی‌شوند. فرآیندهای مندلی تفرق و جور شدن مستقل ژن‌ها از توارث ترکیب‌های ژنی ویژه موجود در والد جلوگیری می‌کنند. چون ارزش اصلاحی، به عنوان ارزش فرد از جنبه مشارکت ژن‌ها به نتاج خود است و چون ترکیب‌های ژنی انتقال نمی‌یابند، بنابراین ارزش اصلاحی تنها می‌بایست

¹¹Breeding value

¹² Independent gene effect

بازتابی از اثرات مستقل ژن‌ها باشد و اثرات ناشی از ترکیب‌های ژنی را شامل نمی‌شود. بنابراین ارزش اصلاحی حیوان تنها مجموع اثرات مستقل تمام ژن‌های موثر بر آن صفت خواهد بود.

در مثال وزن بلوغ، برای سادگی مطلب فرض کنید که ژنوتیپ همه جایگاه‌های موثر بر وزن بلوغ به جز جایگاه B، برای همه حیوانات یکسان هستند. بنابراین، ارزش اصلاحی برای هر کدام از سه ژنوتیپ جایگاه B (BB، Bb و bb) برابر است با:

$$BV_{BB} = 10 + 10 = 20 \text{ گرم}$$

$$BV_{Bb} = 10 + (-10) = 0 \text{ گرم}$$

$$BV_{bb} = -10 + (-10) = -20 \text{ گرم}$$

حیوانات با ژنوتیپ BB، بالاترین ارزش اصلاحی را برای وزن بلوغ دارند. آنها فقط می‌توانند یک ژن B را به نتاج خود منتقل کنند، و ژن‌های B اثر مثبتی بر وزن بلوغ دارند. حیوانات با ژنوتیپ bb پایین‌ترین ارزش اصلاحی را برای وزن بلوغ دارند و فقط می‌توانند یک ژن b را به نتاج خود منتقل کنند و ژن‌های b اثر منفی روی وزن بلوغ دارند. حیوانات با ژنوتیپ Bb یک ژن از هر کدام را دارند و ارزش اصلاحی حد واسط دارند. در نیمی از موارد، ژن B را منتقل خواهند کرد که بر وزن بلوغ نتاج اثر مثبت دارد و در نیمی از موارد، ژن b را منتقل خواهند نمود که بر وزن بلوغ اثر منفی دارد.

حال فرض کنید در جایگاه B غلبه کامل وجود دارد. به عبارت دیگر، اثر ترکیب هتروزیگوت ژن‌های در جایگاه B (Bb) بر وزن بلوغ دقیقاً مشابه ترکیب هموزیگوت غالب (BB) است. اثر کلی که ژن‌های فرد Bb بر وزن بلوغ او دارند-تاثیری که شامل اثرهای مستقل ژنی و اثر غلبه در جایگاه B است-، با اثر کلی ژن‌های موثر بر وزن بلوغ افراد BB فرقی ندارد. هر دو فرد ارزش ژنوتیپی یکسانی دارند. با این وجود، همانگونه که قبلاً نشان داده شد، ارزش اصلاحی یکسانی ندارند.

برای ساده نمودن مطلب، فرض کنید که در ژنوتیپ‌های هموزیگوس، ارزش‌های ژنوتیپی و ارزش‌های اصلاحی با هم برابر هستند. آن گاه می‌توان جدول زیر را تشکیل داد.

ژنوتیپ	ارزش اصلاحی (BV)	ارزش ژنوتیپی (G)
BB	20 گرم	20 گرم

۲۰ گرم	۰ گرم	Bb
۲۰- گرم	۲۰- گرم	bb

چون ترکیبات ژنی اثر یکسانی بر وزن بلوغ افراد BB و Bb دارند، این دو فرد احتمالاً وزن بلوغشان با هم مشابه است. با این وجود، آنها نتاجی با وزنهای بلوغ یکسان ایجاد نخواهند کرد. نتاج افراد BB به طور میانگین سنگین تر خواهند بود. افراد هموزیگوت bb در زمان بلوغ سبکترین خواهند بود و همچنین نتاجی با سبکترین وزن بلوغ تولید خواهند کرد.

به طور خلاصه، 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^{۱۳}، 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 می‌باشد. 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 یا EBV^{۱۴} نامیده می‌شود.

تفاوت نتاج

هر والد نیمی از نمونه ژنهای خود را منتقل می‌کند، بنابراین نیمی از نمونه اثرهای مستقل ژن‌ها به نتاج منتقل می‌شود. به دلیل آنکه ارزش اصلاحی، مجموع اثرهای مستقل همه ژنهای موثر بر صفت در فرد است، والد به طور میانگین نیمی از ارزش اصلاحی خود را به فرزندانش منتقل می‌کند. نصف ارزش اصلاحی والدین برای یک صفت همان است که انتظار داریم از والدین منتقل می‌شود و تفاوت نتاج^{۱۵} (PD)^{۱۶} یا قابلیت انتقال (TA)^{۱۷} نامیده می‌شود. روش دیگر برای درک مفهوم تفاوت نتاج در نظر گرفتن آن به صورت ارزش اصلاحی مورد انتظار از گامت تولیدی توسط فرد است. طبق تعریف:

¹³Breeding value

¹⁴Estimated breeding value

¹⁶Progeny difference (PD)

¹⁷ Transmitting ability (TA)

$$PD = \frac{1}{2}BV$$

تفاوت نتاج یک مفهوم بسیار عملی است. آن را به صورت تفاوت مورد انتظار بین میانگین عملکرد نتاج یک فرد و میانگین عملکرد کل نتاج در نظر بگیرید (با فرض انتخاب تصادفی جفت های آمیزشی). همانند ارزش اصلاحی، تفاوت نتاج یا قابلیت انتقال نیز به طور مستقیم قابل اندازه گیری نیست، اما می توان آن را از روی داده های عملکرد پیش بینی نمود. چنین پیش بینی هایی را تفاوت نتاج مورد انتظار (EPD)¹⁸، تفاوت پیش بینی شده (PD)¹⁹، یا قابلیت انتقال برآورد شده (ETA)²⁰ می نامند و به طور معمول برای مقایسه ژنتیکی بین حیوانات به کار می روند. دانستن این نکته نیز مهم است که فرد به طور دقیق تفاوت نتاج (دقیقاً نصف ارزش اصلاحی) خود را به هر یک از فرزندان منتقل نمی کند. یک والد اغلب نصف ژن های خود را منتقل می کند اما ژن های انتقال یافته، یک نمونه تصادفی از ژن های والدین هستند. بعضی از نمونه ها بهتر از بقیه می باشند. به طور متوسط، نصف ارزش اصلاحی (تفاوت نتاج) فرد منتقل می شود. اما به طور معمول، نمونه گیری مندلی سبب می شود که نیمی از نمونه ژن هایی که به نتاج منتقل می شود، با نصف شایستگی حقیقی (BV) ژن های والد تفاوت داشته باشد. کنترل یا پیش بینی این که یک نتاج خاص نمونه خوب، متوسط یا میانه را دریافت خواهند کرد، غیر ممکن است.

¹⁸Expected Progeny Difference (EPD)

¹⁹ Predicted Difference (PDs)

²⁰ Estimated Transmitting Abilities (ETA)