

تأثیر ضریب همخونی و شاخص‌های ژنتیکی بر صفات اقتصادی و حساسیت به بیماری‌ها در میگوهای پرورشی

مرور تحلیلی ژنتیک و اصلاح نژاد، همخونی، بیماری و انتخاب
ژنومی در میگوی پاسبید (*Penaeus vannamei*)

از مبانی همخونی تا چشم‌انداز ۲۰۲۶+ اصلاح نژاد مدرن در پایداری صنعت میگوی پاسبید

محمد خلیل پذیر – عضو هیات علمی پژوهشکده میگوی کشور

وزن اقتصادی صنعت و مقیاس تهدیدات ژنتیکی



+۸۰%

سهم بازار جهانی

میگوی *P. vannamei* بیش از ۸۰٪ تولید جهانی میگوی پرورشی را به خود اختصاص داده است - گونه غالب صنعت آبزی پروری



۱۵ میلیارد دلار

خسارت تجمعی ویروس

خسارت تجمعی ویروس لکه سفید WSSV تا ۲۰۲۴ در سطح جهانی - پرهزینه‌ترین بیماری آبزی پروری



$Ne \geq 100$ و $\Delta F < 1\%$

مرز بحران همخوانی

استاندارد بقای صنعت: حداقل اندازه مؤثر جمعیت ۱۰۰ و نرخ مجاز افزایش همخوانی زیر ۱٪ در هر نسل

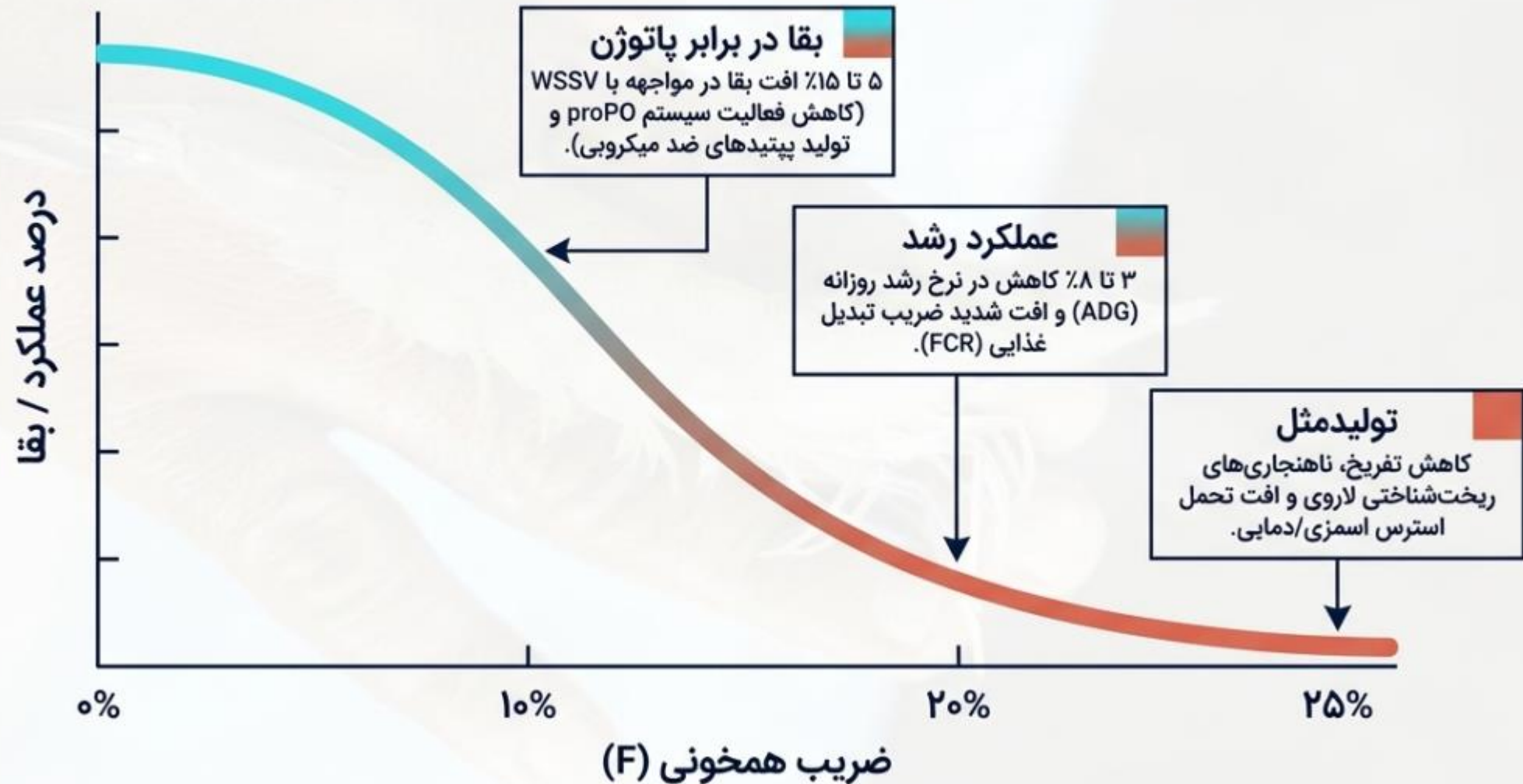
تضاد بنیادین در اصلاح نژاد تجاری: رشد در برابر فروپاشی ژنتیکی



تکثیر متمرکز و باروری بالا،
مراکز را به استفاده مکرر از
معدود ابرمولدها سوق
می‌دهد.

انباشت سریع همخونی،
کاهش هتروزیگوسیتی و ظهور
آل‌های مغلوب زیان‌آور که
تعادل سیستم را نابود می‌کند.

آناتومی رکود همخونی: بهای سنگین هر ۱۰ درصد افزایش F



کالبراسیون سنج‌های همخونی: چرا شجره دیگر کافی نیست؟

 F_{ped} (مبتنی بر شجره)	 F_{is} (انحراف هاردی-واینبرگ)	 F_{ROH} (قطعات هموزیگوت طولانی) [استاندارد طلایی]
بر اساس احتمالات ریاضی است. قادر به تشخیص تفاوت‌های واقعی هموزیگوسیتی بین دو برادر تنی نیست. دارای خطای بالا در جمعیت‌های بسته.	اغلب همخونی واقعی را کم‌برآورد می‌کند؛ در برخی جمعیت‌های همخون ممکن است نزدیک به صفر نشان داده شود.	سهم ژنوم پوشیده‌شده توسط قطعات هموزیگوت ناشی از تبار مشترک (Autozygosity). مطالعات نشان می‌دهد افرادی با شجره یکسان در واقعیت تفاوت‌های فاحشی در میزان F_{ROH} دارند.

SHRIMP GENOTYPING WORKFLOW

SNP MICROARRAY TECHNOLOGY

HIGHER ACCURACY / BETTER SELECTION
HEALTHIER STOCK / SUSTAINABLE AQUACULTURE

1 Tissue Lysis & DNA Extraction

Lyse shrimp tissue, remove proteins and impurities, and isolate high-quality genomic DNA.



Lyse cells



Remove impurities



Purified DNA

2 DNA Amplification & Fluorescent Labeling

Amplify target regions using PCR and label DNA fragments with fluorescent dyes.



Green dye (e.g., Cy3)

Red dye (e.g., Cy5)

3 Chip Hybridization

The labeled DNA sample is pipetted onto the SNP microarray chip, where complementary strands bind to the probes.



Labeled DNA fragments



SNP microarray chip

4 Washing & Laser Scanning

Remove non-specifically bound DNA and scan the chip with laser technology to detect fluorescent signals.



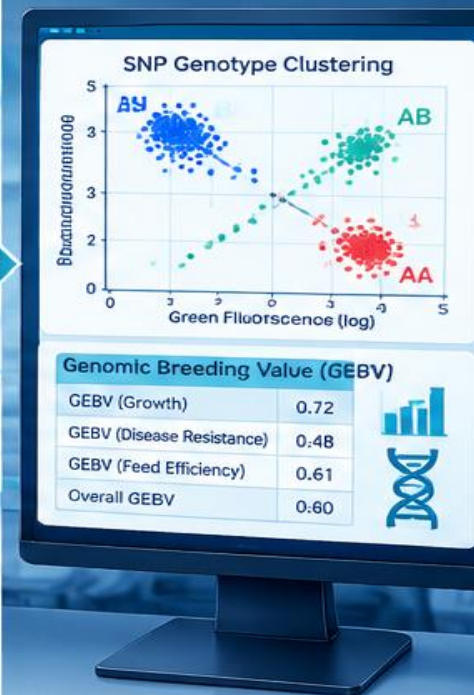
Washing
(remove unbound)



Laser scanning
(green & red)

5 Genotype Calling & Data Analysis

Analyze fluorescence intensities, call genotypes and calculate genomic breeding values (GEBV).



SAMPLE
PREPARATION



PCR & LABELING



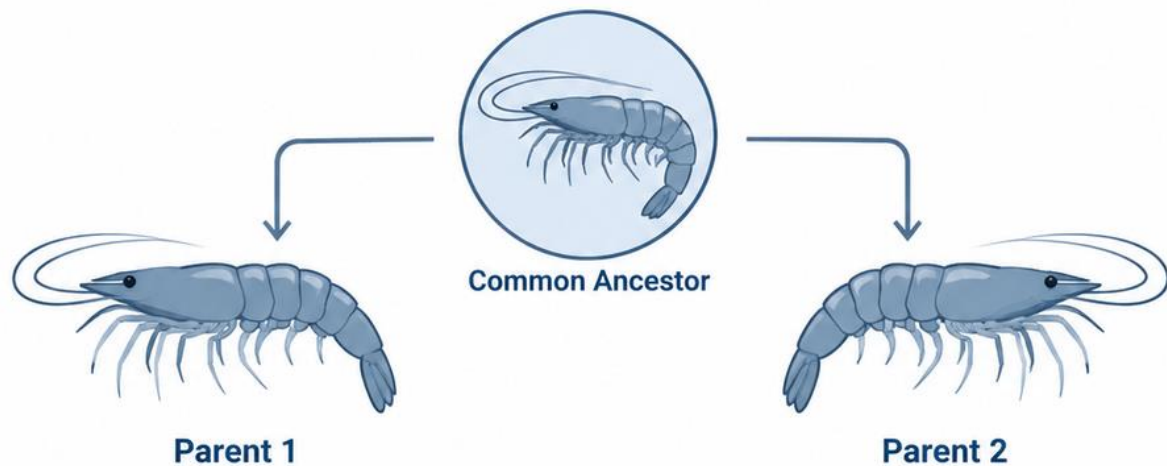
HYBRIDIZATION



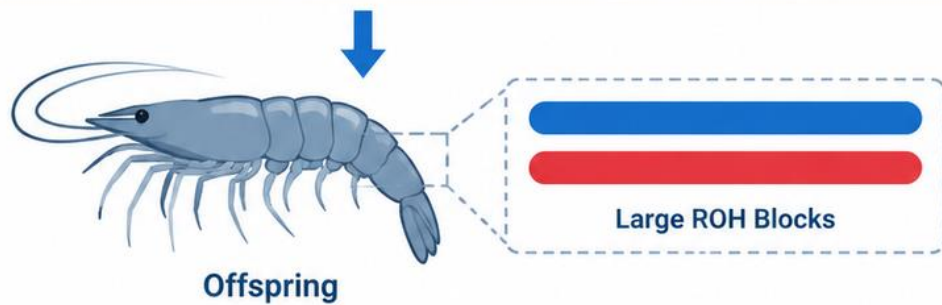
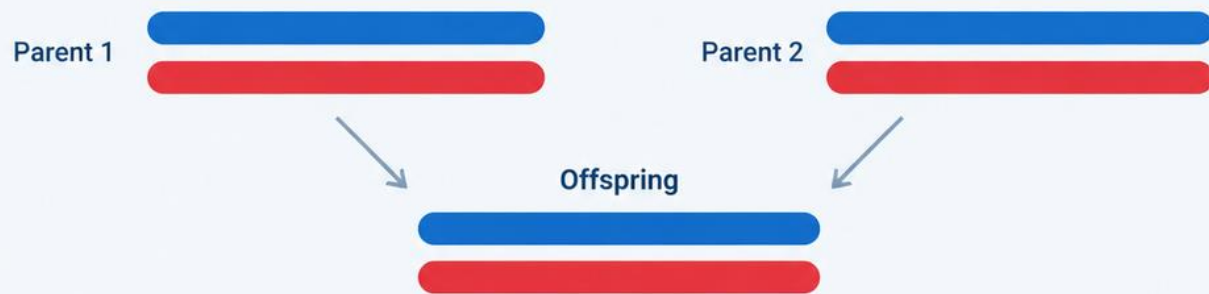
SCANNING



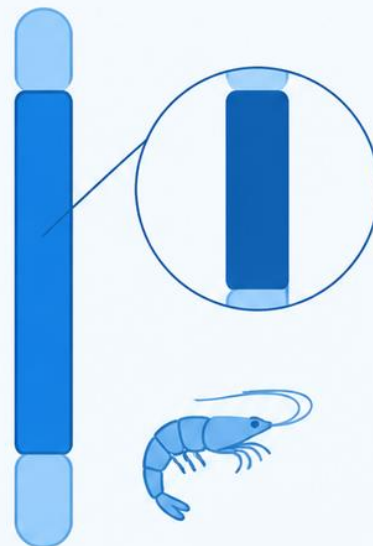
RESULTS



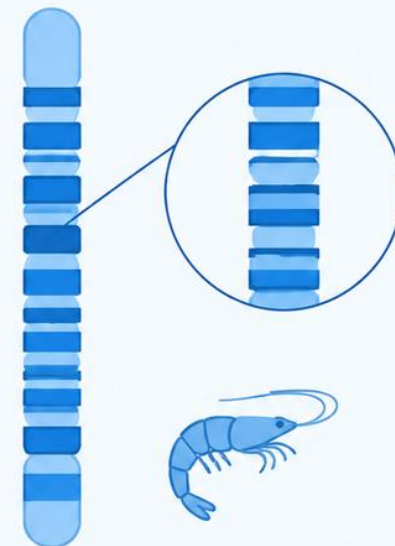
Chromosome Inheritance (Minimal Shuffling / Recombination)



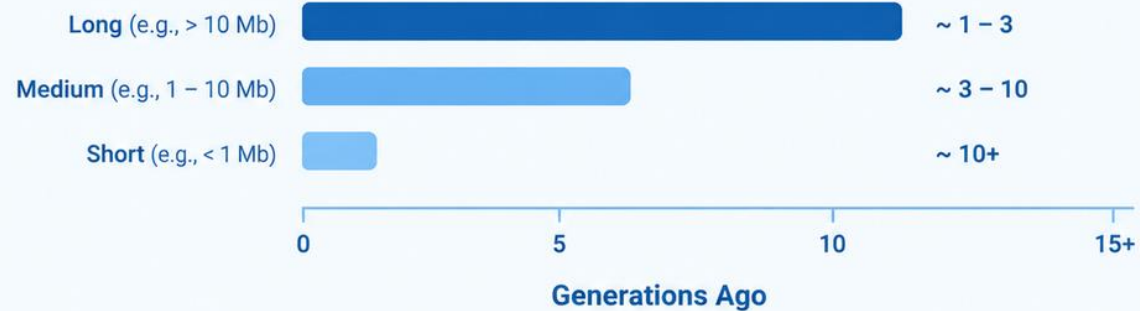
Recent Inbreeding



Ancient Inbreeding



Segment Length → Generations Ago



تهدیدات پاتوژنی از لنز ژنتیک: تضاد در انتخاب طبیعی

WSSV (ویروسی)

مکانیسم آسیب: سرکوب شدید ایمنی ذاتی. ذاتی.

وراثت‌پذیری (h^2): پایین (۰.۰۳ تا ۰.۰۷).

همبستگی با رشد: **منفی** (۰.۵۵- تا ۰.۶۴).
انتخاب صرف برای وزن، مقاومت به WSSV را تخلیه می کند.

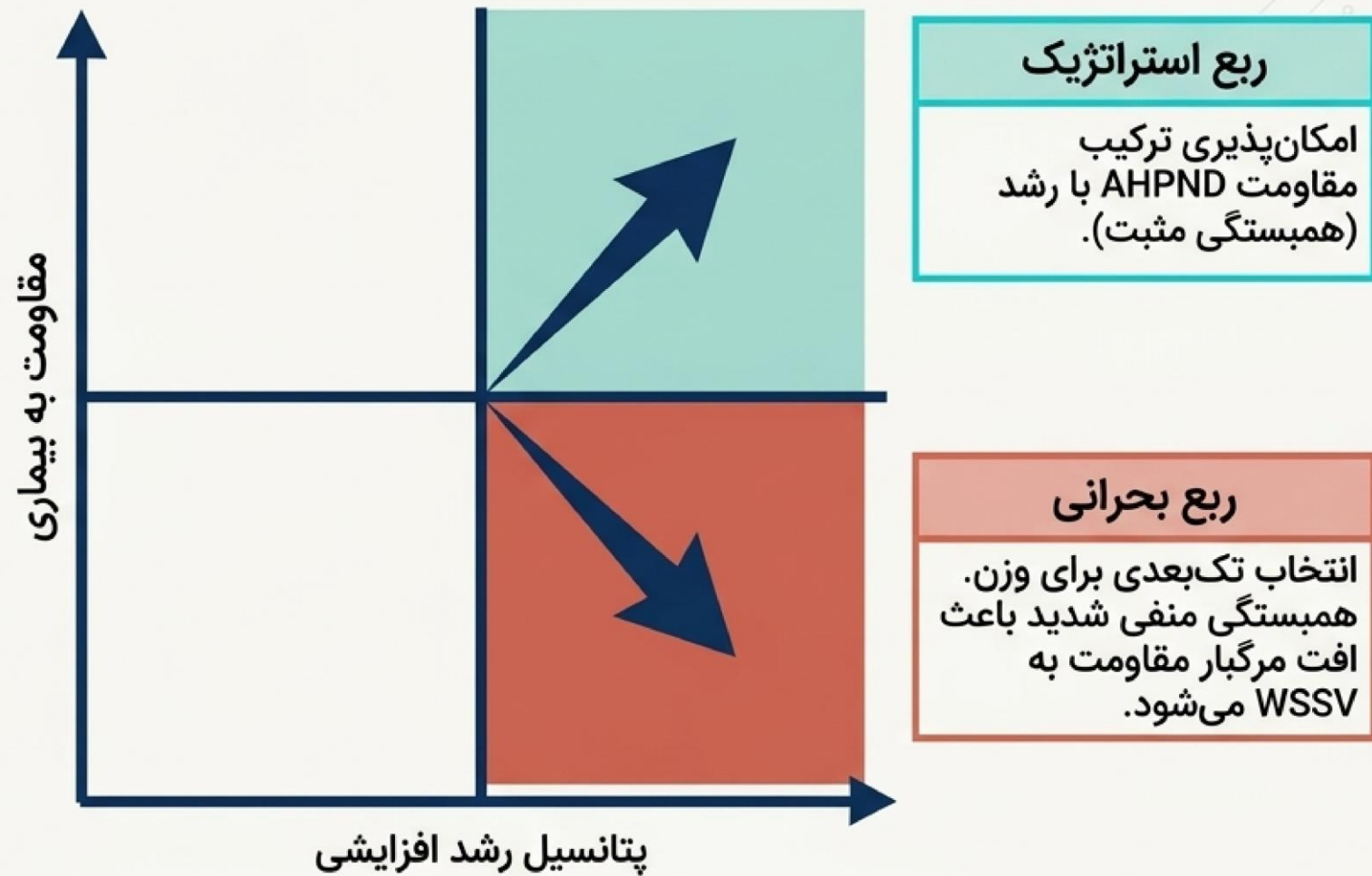
AHPND (باکتریایی)

مکانیسم آسیب: تخریب اپیتلیوم توبول‌های هیپاتوپانکراس توسط سموم باکتریایی (پلاسمید توکسیک).

وراثت‌پذیری (h^2): متوسط تا بالا (۰.۳۱ تا ۰.۵۹).

همبستگی با رشد: **مثبت/خنثی**. امکان انتخاب همزمان برای مقاومت و رشد وجود دارد.

معمای تضاد صفات: رشد سریع در برابر فروپاشی ایمنی



نتیجه گیری مدیریتی: رابطه رشد-مقاومت یک ویژگی ثابت گونه نیست؛ به معماری ژنتیکی و نوع پاتوژن بستگی دارد. ما نیازمند شاخص های چندصفتی هستیم.

شواهد تجربی موفق: درهم شکستن تضاد رشد و مقاومت (WSSV)

نتایج شگفت‌انگیز انتخاب برای مقاومت در نسل‌های G2 تا G5 (انتقال از محیط چالش به استخرهای تجاری).



+۲۵.۳۳%

افزایش بقا



+۳۴.۵۱%

افزایش وزن برداشت



+۸۲.۱۴%

افزایش تولید کل



-۱۳.۸۶%

کاهش ضریب تبدیل
(FCR) خوراک

اثبات مزعه‌ای: انتخاب برای مقاومت بیماری الزاماً به کاهش عملکرد تولیدی منجر نمی‌شود؛ در یک برنامه مدون، عملکرد اقتصادی کل افزایش می‌یابد.

سیر تکامل سیستم‌های انتخاب ژنتیکی (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۶)



تغییر پارادایم: گذار از شجره سنتی به پیش‌بینی ژنومی (ssGBLUP)

الگوریتم سنتی (BLUP)

Phenotype + Pedigree → EBV

(فرض می‌کند برادران تنی دقیقاً ۵۰٪ ژنوم مشترک دارند - تخمین تقریبی)



الگوریتم ژنومی (ssGBLUP)

Phenotype + Pedigree + Genome-wide SNPs → GEBV

(اشتراک آلی ژنومی واقعی IBD را اندازه‌گیری می‌کند)

+۶۷.۵%

افزایش دقت پیش‌بینی مقاومت به
AHPND نسبت به روش‌های سنتی.

اختلاف ۲۶ درصدی

بقا در گروه دارای ارزش ژنومی بالا (۵۱٪)
در مقایسه با گروه پایین (۲۵٪) در
چالش واقعی WSSV.

نوآوری حیاتی در ارزیابی: آزمون چالش خواهر/برادری (Sib-Testing)



معماری شاخص انتخاب متوازن (Balanced Selection Index)

$$\begin{aligned} & 0.40 \times \text{GEBV_Growth} \quad + \quad 0.40 \times \text{GEBV_Survival/WSSV} \quad + \quad 0.20 \times \text{GEBV_FCR} \quad = \quad \text{مولد ایده‌آل} \\ & \text{افزایش وزن نهایی} \quad \quad \quad \text{تاب‌آوری پاتوژنی} \quad \quad \quad \text{ضریب تبدیل غذایی} \quad \quad \quad \text{(Overall EBV)} \end{aligned}$$

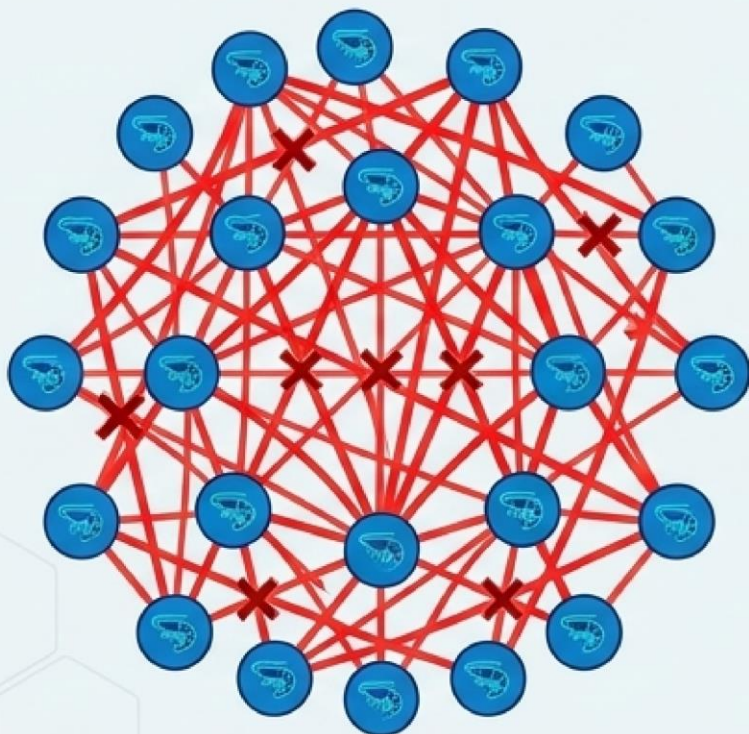


نکته کلیدی: این ضرایب باید بر اساس پارامترهای ژنتیکی، واریانس و همبستگی‌های همان جمعیت بومی‌سازی شوند، نه کپی‌برداری کورکورانه از سایر جمعیت‌ها.

مهار هوشمند همخونی: انتخاب سهم بهینه (OCS)

تله جفت‌گیری سنتی

(بهترین نر × بهترین ماده = خویشاوندی بالا)

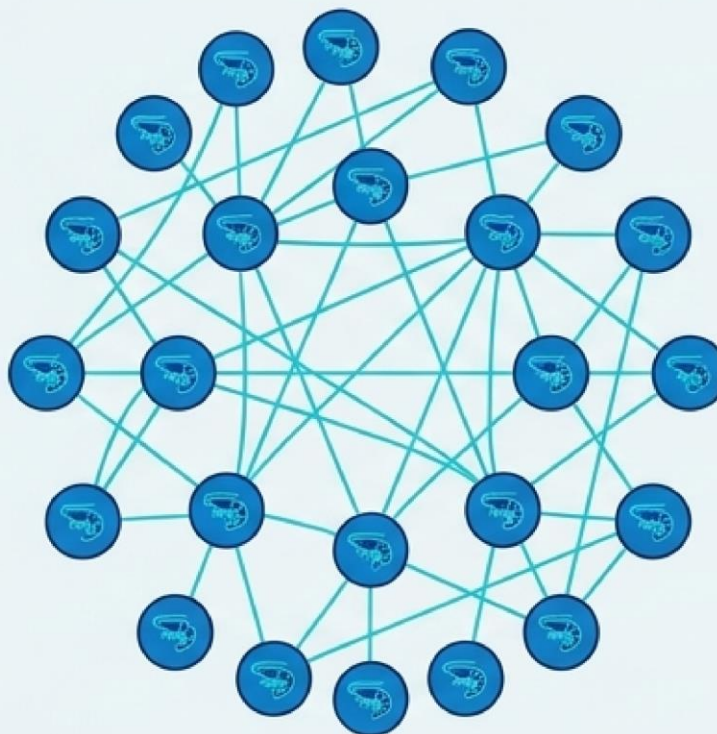


تله جفت‌گیری سنتی

(بهترین نر × بهترین ماده = خویشاوندی بالا)

راهکار OCS

(مدیریت سهم ژنتیکی با حفظ تنوع)



راهکار OCS

(مدیریت سهم ژنتیکی با حفظ تنوع)

منطق الگوریتم OCS

بهینه‌سازی سهم ژنتیکی والدین در نسل بعد به گونه‌ای که پیشرفت ژنتیکی بیشینه شده، اما نرخ همخونی سالانه زیر ۱٪ بماند ($\Delta F \leq 0.01$).

فرمول اجرایی جفت‌گیری

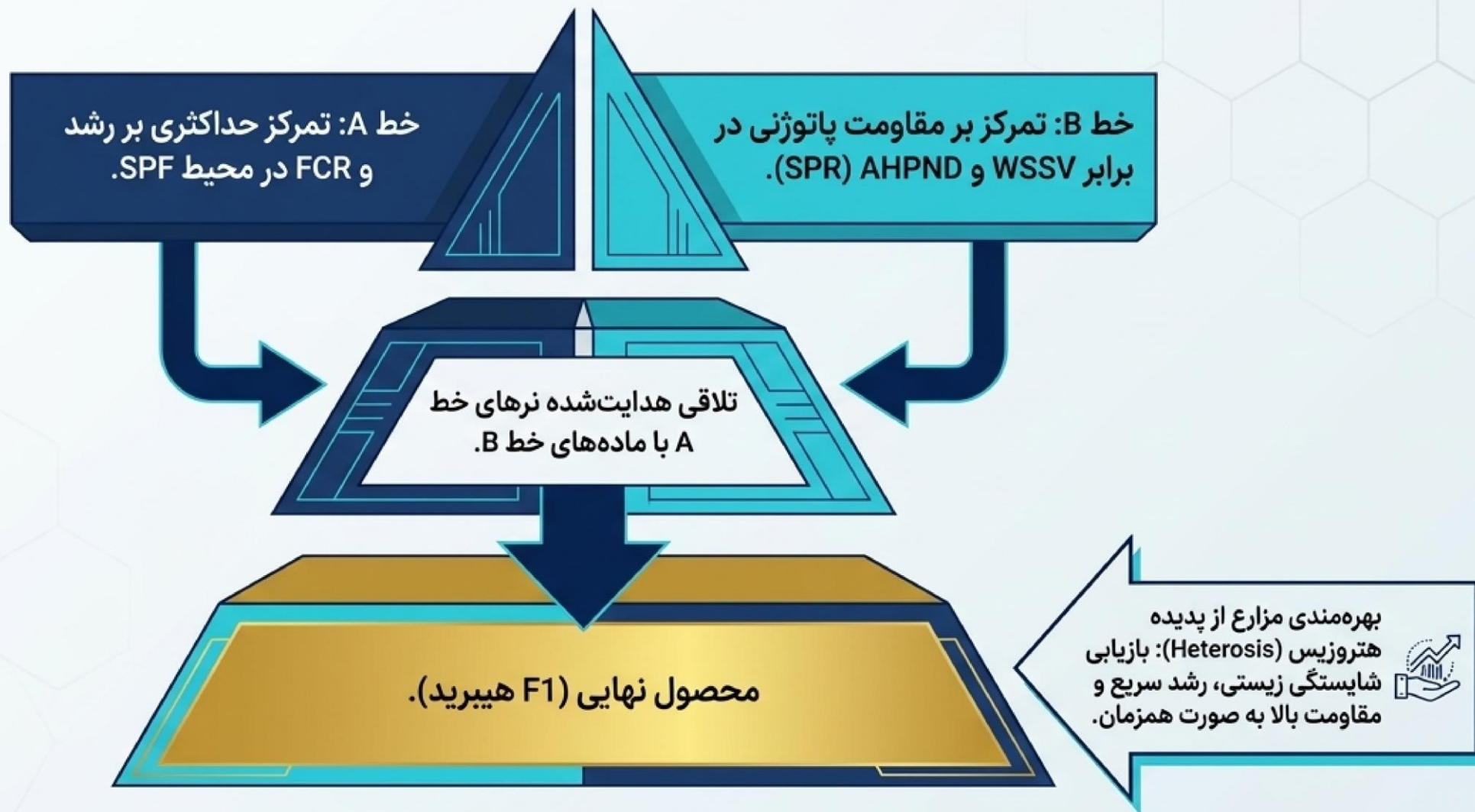
Best GEBV

×

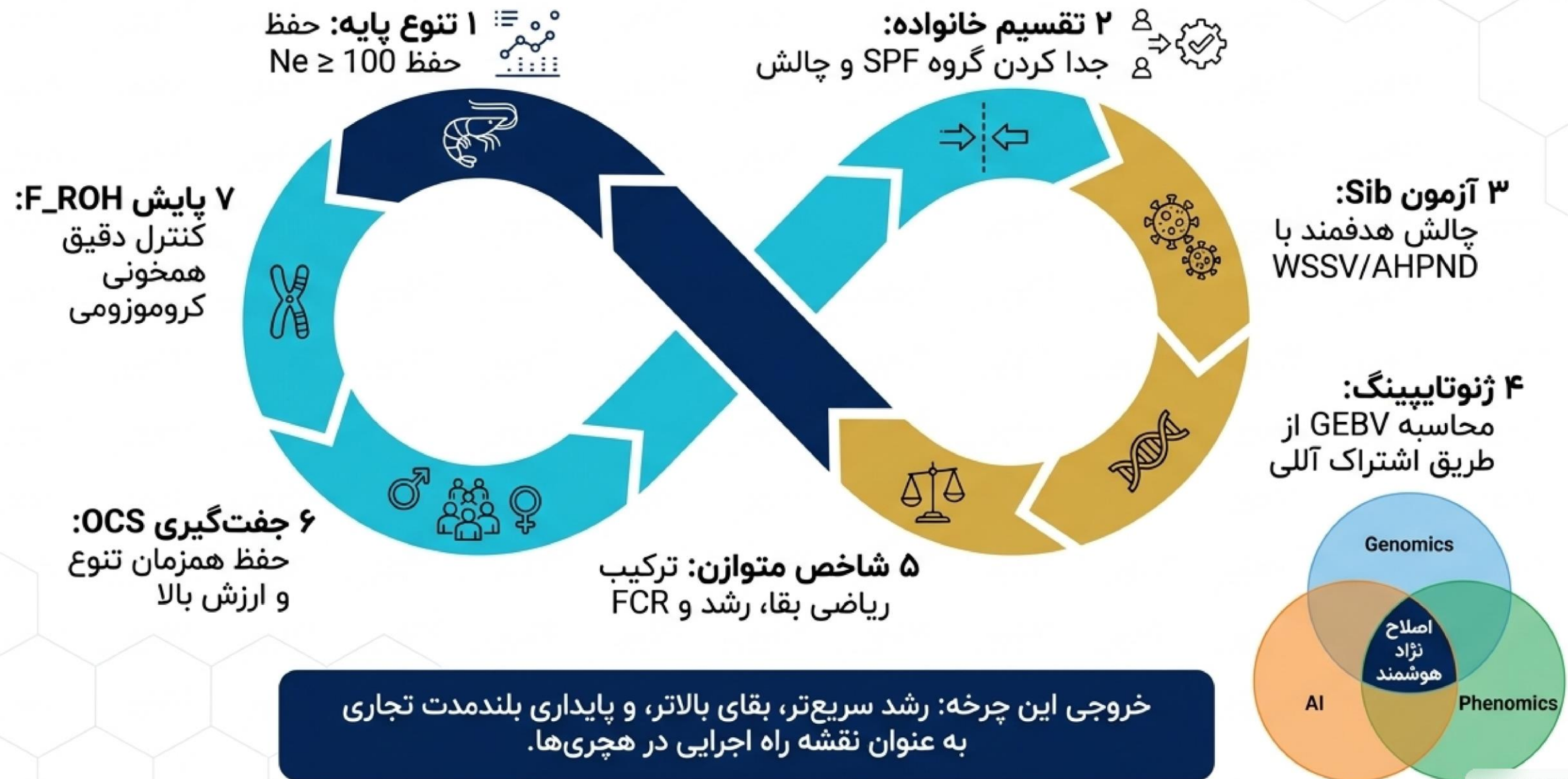
Low Genomic Relatedness

(ممنوعیت جفت‌گیری درجه ۱ و ۲ بر اساس همپوشانی آلی)

استراتژی تولید هیبرید تجاری: هسته دوخطی (Two-Line Nucleus)



چکیده مدیریتی: چرخه طلایی اصلاح نژاد ژنومی و افق ۲۰۲۶



پایان ارائه ♥

با سپاس از توجه شما



منابع کلیدی مرور شده

- Zou et al. (۲۰۲۶) – ROH در Scientific Reports
- Robledo et al. (۲۰۱۸) – دقت پیش‌بینی GBLUP
- Lyu et al. (۲۰۲۱) – دقت ssGBLUP
- Casado et al. (۲۰۲۲) – افت هم‌خونی
- Gitterle et al. (۲۰۰۵) – وراثت‌پذیری مقاومت WSSV
- Huang et al. (۲۰۱۲) – (برنامه انتخاب چندنسلی WSSV
- Doyle (۲۰۱۶) – FROH و معرفی Fis نقد
- Moss et al. (۲۰۰۷، ۲۰۰۸) – افت صفات با

ژنتیک میگو و اصلاح نژاد - مرور علمی ۲۰۲۶