

# Determinismo genético y mejora por selección de la calidad de la carne

Renand, G.

Station de Génétique Quantitative et Appliquée. UR337. INRA. Jouy-en-Josas. Francia.

La perspectiva de mejorar por selección la calidad de la carne de las razas bovinas necesita profundizar no sólo en si esta calidad tiene un origen genético, sino igualmente en si debe incluirse entre los objetivos económicos de los ganaderos. En efecto, el ganadero de vacas nodrizas, que es quién decide los cruzamientos que realizará en su ganadería, elegirá un toro mejorante de la calidad de la carne sólo si sus terneros desarrollarán efectivamente un potencial genético para una carne de mejor calidad y si percibirá un mayor valor económico de venta de los mismos.

**H**asta ahora, al menos en Francia, no existen diferencias de precio en función de la calidad, ya que no existe una medida de la misma, y resulta poco probable que en breve se pongan en marcha medidas poco costosas y realizables de forma rutinaria. Sin embargo, los profesionales tienen puesta su esperanza en la utilización de marcadores genéticos de la calidad. Así, sería posible poner en marcha unos precios diferenciales, basados en la información genética de dichos marcadores.

El conocimiento sobre el determinismo genético de la calidad de la carne de vacuno y sus componentes se han incrementado notablemente en los últimos años gracias a la importante investigación que se está llevando a cabo en los principales países productores de carne de vacuno (Estados Unidos y Australia). En Francia, están en curso unos programas para sus condiciones particulares de producción y consumo.

## La calidad de la carne de vacuno

El aspecto visual es un criterio primordial porque determina la compra, pues es

el único criterio de elección, además del precio y la información sobre el origen de la carne, que tiene el consumidor. Por ejemplo en Francia, la presencia de grasa intermuscular en el entrecot conlleva un rechazo casi sistemático.

El color es la segunda característica visible. Al contrario que sucede con la grasa intermuscular, no existe en Francia, rechazo por este criterio. Si bien existen diferencias entre los consumidores sobre la coloración preferida, éstas coinciden frecuentemente con los hábitos de producción y consumo regionales.

En la pieza a la brasa o cocinada, la textura (terneza y jugosidad) es la primera cualidad apreciada en el momento del consumo. La terneza surge sistemáticamente como el criterio más importante y por el que el consumidor expresa sus exigencias en términos de calidad y regularidad. La dureza representa el principal motivo de insatisfacción del consumidor en las carnes para brasa en las que el precio de compra es relativamente elevado. Las diferencias de sabor de la carne no se aprecian de hecho, siempre que la terneza sea juzgada al menos como correcta.

## Características musculares asociadas a la calidad

La calidad que se aprecia en la carne cocinada resulta de la transformación del músculo como consecuencia de su maduración. Las características del músculo resultan de la interacción entre el patrimonio genético y el medio de cría, desde la concepción al sacrificio. Las condiciones de sacrificio, los tratamientos tecnológicos y de maduración de la carne juegan un papel primordial en la terneza así como el modo y la temperatura de cocción. Parece entonces que el estudio de la calidad de la carne requiere una definición precisa de las condiciones del medio, de la granja al plato, con el fin de comprender la parte de las diferencias de calidad que están ligadas a diferencias intrínsecas entre animales.

El músculo está constituido principalmente por fibras musculares ligadas por tejido conjuntivo. Éstas albergan la mayor parte de las proteínas nobles del músculo y el tejido conjuntivo está constituido mayoritariamente por colágeno, proteína responsable de la dureza de la carne. Los lípidos intramusculares son almacenados en los adipocitos repartidos

por el tejido conjuntivo. El contenido de colágeno es el primer factor explicativo de las diferencias de dureza entre piezas. También se ha demostrado que los músculos con mayor proporción de fibras IIB (blancas rápidas) tienen una velocidad de maduración más rápida que las de los músculos mayoritariamente de tipo I (rojo lento).

Si bien existen numerosos trabajos que han medido las diferencias de calidad y de composición entre animales sometidos a tratamientos diferentes (edad, sexo, alimentación...), son pocos los que intentan entender la variabilidad para un mismo músculo, entre animales manejados en condiciones idénticas. En un estudio llevado a cabo en Francia en 106 terneros Charoleses, parece que el 25-30% de la variabilidad de la calidad de la carne puede ser explicada por las características musculares estudiadas, es decir, la proporción de lípidos intramusculares y de colágeno, la solubilidad del colágeno, el tamaño y el tipo de fibras musculares. El flavor aparece asociado prioritariamente a la proporción de lípidos. La carne considerada más tierna es la de aquellos animales con fibras musculares más finas, con menos colágeno y

### **Variabilidad genética de la calidad de la carne y de las características musculares asociadas**

La estimación de parámetros genéticos requiere un número elevado de animales estudiados y la medida de la calidad de la carne por un jurado de degustación es muy costosa. De hecho, sólo existe un número limitado de estudios disponibles en la literatura y están todos hechos en Australia y EE.UU. En estos estudios se muestra que existe una variabilidad genética intraracial no despreciable de la terneza (del orden de  $h^2=0,25$ ), ya sea apreciada por un jurado de degustación o medida mecánicamente por una fuerza de cizalla. Esta terneza es por tanto potencialmente mejorable por selección si pudiera medirse en la descendencia. Por otra parte, la jugosidad y el flavor parecen menos heredables, y de hecho bastante poco ligados a la terneza.

Las tres características musculares estudiadas en estas experiencias demuestran presentar unas heredabilidades bastante elevadas (del orden de  $h^2=0,45$ ). Está comprobado que la proporción de calpastina, una enzima con acción anti-proteolítica, está negativamente correla-

como objetivo estimar la variabilidad genética conjunta de las características musculares y de las aptitudes carniceras al sacrificio de 377 terneros Charoleses. Los principales resultados muestran una estrecha correlación genética entre la composición de la canal y ciertas características musculares. Los animales genéticamente grasos tienen músculos con más lípidos, con fibras musculares más gruesas y con un colágeno menos soluble. Teniendo en cuenta las relaciones fenotípicas antes mencionadas, es probable que una selección que favoreciera el crecimiento muscular a costa de los depósitos adiposos, debería tener unos efectos más bien favorables sobre la terneza, pero desfavorables sobre el flavor.

En estos momentos se está desarrollando en Francia una experiencia de gran calado para estudiar el determinismo genético de la calidad de la carne, con la medida de 3.360 terneros, hijos de 114 padres. Los primeros resultados obtenidos en los 1.222 terneros sacrificados en el primer año ponen en evidencia la existencia de una variabilidad genética no despreciable de la terneza, y que ésta presenta una relación negativa con el tamaño de las fibras musculares, confirmando así las relaciones fenotípicas antes mencionadas.

Como conclusión, se puede afirmar que es potencialmente realizable un progreso genético sobre la terneza si ésta puede medirse sin un coste excesivo. En ausencia de una medida directa, no es posible apoyarse en los resultados de la bibliografía anglosajona para preconizar, al menos en Francia, una selección indirecta sobre el grado de veteado. Así, para las razas francesas, sus sistemas autóctonos de producción y su forma de consumo interno, intentar incrementar los lípidos intramusculares para mejorar la terneza es ilusorio, y tendría unos efectos negativos sobre la composición de las canales, si bien se podría esperar un efecto favorable sobre el flavor.

### **Búsqueda de marcadores moleculares**

El contexto recién descrito de imposibilidad de poner en práctica métodos clásicos de selección lleva a preguntarse sobre las posibilidades de seleccionar en base a marcadores moleculares. La búsqueda de estos marcadores se basa en dos enfoques: la genómica funcional y la genómica estructural. La primera es la profundización desde el punto de vista fisiológico para descomponer los mecanismos

## **La calidad de la carne debe ser estudiada en las condiciones representativas de producción y de consumo de cada país**

con un colágeno más soluble. Resultados similares se obtuvieron con el mismo procedimiento de evaluación de los caracteres organolépticos en terneros de otras razas (Aubrac, Gasconne y Salers).

Estos resultados se desmarcan de los obtenidos en EE.UU. y Australia donde el contenido de lípidos aparece como la característica muscular más correlacionada con la terneza. De hecho en estos países el veteado es utilizado en el matadero como predictor de la calidad y se utiliza para modular el precio de la canal. Estos resultados diferentes tienen su origen en las diferencias del tipo de animal (edad, sexo, estado de engrasamiento...) y del modo de cocinado entre los estudios franceses y la bibliografía anglosajona. Es por tanto importante que la calidad de la carne sea estudiada en condiciones representativas de producción y de consumo de cada país.

cionada con la terneza y podría servir de criterio de selección si pudiera medirse fácilmente sobre la descendencia. Las relaciones genéticas entre terneza y lípidos, o nota de veteado son positivas y refuerzan las relaciones fenotípicas.

La imposibilidad de medir la calidad sensorial sobre la descendencia, por su elevado coste, ha llevado a estos países a utilizar el grado de veteado como criterio de selección indirecto de mejora de la calidad. Esta estrategia presenta el inconveniente de estar positivamente correlacionada con el engrasamiento de la canal, carácter que debe reducirse para mejorar la eficacia económica del engorde. La existencia de notas de veteado y el estado de la canal autoriza de todas formas a practicar una selección sobre índices para encontrar reproductores que depongan lípidos suficientes en el músculo, sin acumular en exceso en la canal.

En Francia, un primer estudio tuvo



implicados en la expresión de un carácter y permite proponer un cierto número de genes candidatos de los que habrá sin embargo que verificar si están implicados efectivamente en la variabilidad genética de los caracteres.

El segundo enfoque, trata de detectar regiones del genoma que alberguen genes polimórficos (presencia en la población de una forma normal y de una forma mutada), en los que el polimorfismo contribuye significativamente a la variabilidad genética de los caracteres. Estas regiones se denominan QTL.

Se han encontrado QTL pero es difícil hacer coincidir los resultados ya que su comunicación suele ser poco explícita. En lo que concierne a la calidad de la carne (fuerza de cizalladura y veteado), sólo el USDA de los Estados Unidos ha publicado resultados de las posiciones de posibles QTL. Por otra parte, el CSIRO de Australia, ha registrado la patente sobre marcadores microsatélites para su asociación con QTL que actúan sobre la calidad de la carne sin haber publicado los resultados de su detección. Dichos marcadores microsatélites asociados a QTL pueden utilizarse para una selección asistida por marcadores (SAM), es

decir, una selección sobre valores genéticos predichos a partir de los fenotipos y genotipos de los marcadores. Sin embar-

marcadores SNP (Single Nucleotide Polymorphism) en estos genes candidatos. Estos SNP podrían utilizarse de esta

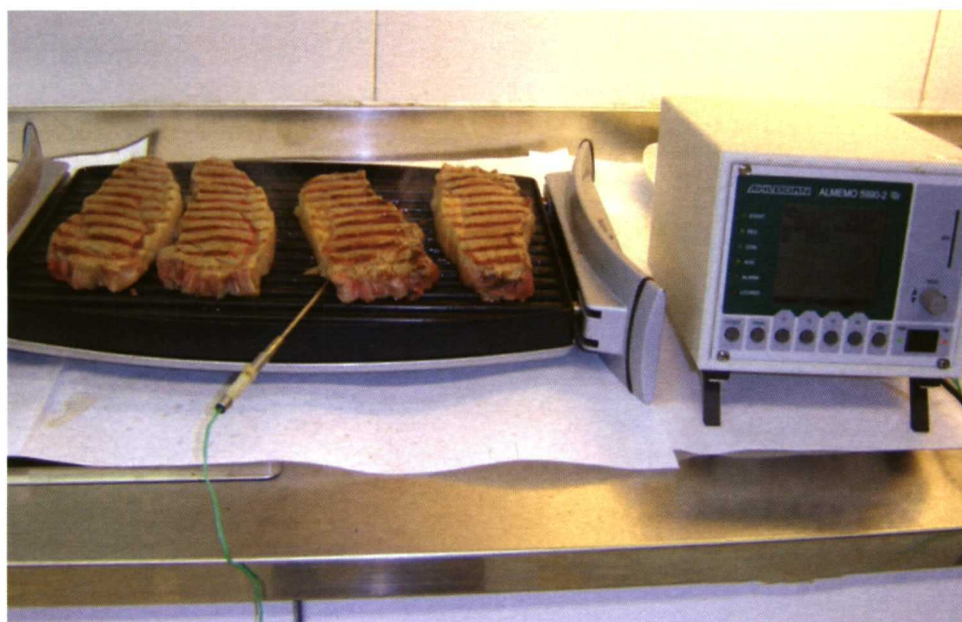
### **La imposibilidad de poner en práctica métodos clásicos de selección lleva a preguntarse sobre las posibilidades de los marcadores moleculares**

go no es posible encarar la SAM para la mejora la calidad de la carne, ya que requiere el seguimiento de las medidas fenotípicas, y éstas no existen.

Si la selección debe hacerse sólo sobre la información molecular (selección genómica), es indispensable disponer de marcadores lo más estrechamente ligados posible (desequilibrio de relación) con la mutación causal. Así se facilitaría mucho la selección ya que no sería necesario verificar sistemáticamente los fenotipos. En la actualidad están en marcha investigaciones para localizar con precisión QTL, así como para encontrar genes candidatos utilizando la cartografía comparada y finalmente para encontrar los

manera como test genéticos.

Esta evolución ha sido estudiada para el gen de la m-calpaina (CAPN1) por el USDA Clay Center, que ha sido definido como gen candidato para la terneza puesto que codifica una proteasa que juega un papel clave en el proceso de maduración *post mortem* de la carne. La búsqueda de genes candidatos ha permitido a diferentes equipos proponer y registrar marcadores SNP potencialmente útiles para mejorar la calidad de la carne. En lo que se refiere a la terneza, se ha registrado una patente para dos genes situados en el cromosoma 7: el gen de la calpastatina (CAST) y el de la Lysil oxidasa (LOX), mientras que ninguna



publicación señala la presencia de un QTL para la ternera en las regiones en las que se encuentra estos genes.

En lo que se refiere al veteado de la carne, la Tiroglobulina, precursora de dos hormonas tiroideas implicadas en el desarrollo de los adipocitos, tiene una patente como gen candidato. Un acercamiento similar se ha realizado con el cromosoma 3 donde el gen RORC (retinoid related orphan receptor C) ha sido propuesto como gen candidato y patentado por su asociación con el veteado. Otros genes candidatos asociados al veteado, han sido patentados: leptina (LEP) y DGAT1.

Existe un cierto número de test genéticos que utilizan estos resultados publicados o patentados y que son comercializados por diferentes empresas (<http://animalscience.ucdavis.edu/animalbiotech/biotechnology/mas/>), suponiendo que estos marcadores SNP están sistemáticamente en fase con las mutaciones causales referidas en todas las poblaciones. La utilización de cualquier marcador genético en las poblaciones para mejorar la producción de carne, requiere sin embargo asegurar previamente su utilidad real:

- Verificando que un QTL está efectivamente segregado en dichas poblaciones.
- Estimando la frecuencia de los alelos del marcador en las poblaciones mencionadas.
- Asegurando que existe un desequilibrio de relación explotable entre este marcador y el gen interviniente sobre el carácter referido.

Se han puesto en marcha programas

de Investigación y Desarrollo a gran escala para suministrar informaciones completas sobre los métodos susceptibles de ser aplicados para mejorar la calidad de la carne por selección: estimación de la variabilidad genética, cartografía fina y validación de los marcadores moleculares. Estos programas se han puesto en marcha en Australia y Estados Unidos en sus razas de carne y sistemas de producción predominantes.

En Francia un programa de investigación similar fue iniciado en 2003 por las cooperativas de selección de toros para IA en colaboración con el INRA y el Institut de l'Elevage. Este programa procura obtener una potente herramienta de análisis del determinismo genético de la calidad de la carne bovina mediante la creación de una importante base de datos sobre las aptitudes carniceras y la calidad de la carne, así como un banco de ADN de jóvenes bovinos obtenidos de una estructura familiar adaptada. Los resultados están en fase de obtención, pero ya se ha constatado que algunos SNP utilizados en los test genéticos comerciales no presentan polimorfismo en las tres razas estudiadas. El conjunto de terneros (3.360) han sido sacrificados y la medición de la calidad de la carne acabará en el verano de 2007. Todos los terneros, todos los padres y el 80% de las madres han sido genotipados para 49 marcadores (26 SNP y 23 micosatélites) repartidos en una región candidata y 12 genes candidatos que supuestamente intervienen en la variabilidad genética del crecimiento (3 genes), la ternera (3 genes) y el veteado (6 genes y una región). Los análisis de asociación entre

marcadores y calidad de la carne pueden comenzar a partir de la toma de las últimas medidas fenotípicas.

Este repaso subraya la importancia de los esfuerzos realizados para buscar marcadores moleculares de la calidad utilizando las técnicas genómicas más recientes. Estas investigaciones representan un objetivo estratégico real para poner a disposición de los ganaderos, marcadores que sean utilizables efectivamente en las poblaciones nacionales de los distintos países. Si bien ya se comercializan test genéticos, es recomendable planificar experiencias previas de validación ya que la ausencia de medidas rutinarias de la calidad de la carne no permitirá proceder a verificaciones posteriores.

### Conclusión

Si bien en las poblaciones de vacuno de carne existe una variabilidad genética no despreciable respecto a la calidad de la carne, no es de esperar que se pongan en marcha programas de selección clásicos basados en el registro de fenotipos para predecir el valor genético de los reproductores, en tanto que no estarán disponibles herramientas de medida de estas calidades que se puedan poner en marcha en los mataderos a un coste razonable. No podrá invertirse en investigación sobre estas materias hasta que el consumidor exija que el precio de la carne se forme en función de su calidad.

Mientras, se puede proponer al consumidor carne de animales con una calidad potencial. Así, la disponibilidad de marcadores explotables, es decir estrechamente ligados a las mutaciones causales, permitirá diferenciar a los animales en función de su genotipo. Será así posible valorizar los animales portadores de alelos favorables, dirigiéndolos hacia sistemas de producción y comercialización donde sea mejor valorada la calidad.

Desde esta óptica es posible imaginar que la información genotípica de los marcadores pueda integrarse en los pliegos de condiciones de algunas marcas de calidad. Sin embargo, la confianza del consumidor en la calidad del producto certificado por marcador molecular no debe perderse por la utilización de test genéticos insuficientemente validados. La utilización por los ganaderos de reproductores con marcadores moleculares reconocidos dependerá del mayor valor económico que obtengan de sus producciones, frente a los toros mejorantes de tan sólo aptitudes productivas como los empleados hasta la fecha. ●