

DOI: 10.16872/j.cnki.1671-4652.2016.04.013

# 小麦品质性状相互关系的研究

吴宏亚<sup>1,2</sup>, 张 晓<sup>1</sup>, 施恰恰<sup>2</sup>, 程顺和<sup>1,2\*</sup>

(1. 江苏里下河地区农业科学研究所, 江苏 扬州 225007;

2. 扬州大学 农学院/江苏省作物遗传生理重点实验室/教育部植物功能基因组学重点实验室, 江苏 扬州 225009)

**摘 要:** 以 14 个具代表性的弱筋、中筋、强筋小麦品种为材料, 采用 4 种施肥处理, 连续 2 年测定 48 个小麦外观、籽粒及面粉品质、理化性状以及饼干外观、品质性状, 分析 1 128 个两两性状组合之间的关系。结果表明: 这些性状间的关系可分为 4 大类, 其中性状间无相关的有 700 对, 占 62.0%; 弱线性关系有 358 对, 占 31.7%; 强线性关系有 28 对, 占 2.5%; 非线性关系有 42 对, 占 3.7%。非线性关系, 又可分为 3 种不同类型, 其中递增型有 17 对, 占 1.51%; 递减型有 4 对, 占 0.35%; 低谷型有 1 对, 占 0.09%。此外, 有些小麦品质性状之间存在比较复杂的关系。用非线性模型能较好地描述某些小麦品质性状之间的关系, 并可通过非线性方程确定峰值点、拐点等关键值。

**关键词:** 小麦; 品质性状; 相关关系; 非线性拟合; 参数估计

中图分类号: S 512

文献标志码: A

文章编号: 1671-4652(2016)04-0065-06

## Study on the relationship between wheat quality traits

WU Hongya<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiao<sup>1</sup>, SHI Qiaqia<sup>2</sup>, CHENG Shunhe<sup>1,2</sup>

(1. Lixiahe Agric Sci Res Inst of Jiangsu Prov, Yangzhou 225007, China;

2. Key Lab of Crop Gen and Physio of Jiangsu Prov/Key Lab of Plant Funct Genomics of MOE/Coll of Agric, Yangzhou Univ, Yangzhou 225009, China)

**ABSTRACT:** The trial was implemented in the experimental site of Lixiahe agricultural science research institute in Yangzhou, and Hai'an crop cultivation station in Nantong for two consecutive years. Every site had four fertilizer treatments with 2 replicates. After measuring 48 characters including wheat appearance, grain and flour quality, physical and chemical properties and biscuit appearance and quality traits, we calculated correlation for each two traits. According to the scatter plot and the correlation coefficient, the relationship could be divided into no correlation, weak linear correlation, strong linear correlation, and nonlinear correlation. As for those nonlinear relationships, different models were fitted and parameters were estimated. The results showed that 700 pairs out of all 1 128 pairs were not correlated, accounting for 62.0%. 358 pairs had weak linear relationship (31.7%), 28 pairs had strong linear relationship (2.5%). 42 pairs had non-linear relationship (3.7%), in which there were 17 pairs of increasing function model (1.51%), 4 pairs of decreasing function model (0.35%) and 1 pair of the model with a minimal value (0.09%). Those results indicated that most quality traits had weak relationship between them, and some with complicated relationship. And using nonlinear model could describe the relationship much more accurately than linear model. By applying nonlinear function, we could determine some key points in wheat quality breeding program.

**KEY WORDS:** wheat; quality trait; correlation; nonlinear fitting; parameter estimation

小麦是世界上最重要的粮食作物之一, 其总种植面积、总产量及总贸易额均居世界首位。我国的小麦种植面积和总产量仅次于水稻, 在我国的农业生产中占有重要地位。不同品种的小麦, 品质亦不同。随着人们生活水平的提高, 对小麦的品质要求也不断发生变化<sup>[1]</sup>。以前我国小麦品质育种一直较重视强筋小麦, 将弱筋视为劣质小麦性状。随着我国经济发展, 弱筋小麦产品——饼干、糕点消费有了很大

收稿日期: 2015-09-09

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项(201203026)

作者简介: 吴宏亚(1972—), 男, 江苏宝应人, 江苏里下河地区农业科学研究所副研究员、博士, 主要从事小麦遗传育种研究。

\* 通信作者, E-mail: yzesh1939@126.com

的提升,用于制作饼干糕点的优质弱筋小麦需求量也有了很大增长。对弱筋小麦籽粒外观、面粉理化性状以及饼干品质性状之间的相互关系的系统分析有助于了解这些性状之间的关系,通过相关性状的选择有助于提高品质性状的选择效率,加速优质饼干小麦育种的进程。有关弱筋小麦品质性状间的相关分析前人已有报道<sup>[2-6]</sup>,但通过建立合理的非线性关系模型找出两两性状关系的研究尚未见报道。因此,本研究对一份由弱筋小麦为主要材料的品质性状试验数据进行分析,探究小麦各种品质性状之间的相互关系,以期为提高弱筋小麦品质改良效率提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料及设计

14 个供试小麦品种,其中 9 个弱筋小麦品种分别为宁麦 9 号、扬麦 18、扬麦 19、扬辐麦 2 号、扬麦 15、扬麦 9 号、皖麦 48、扬 07-129、扬麦 13; 3 个中筋小麦品种分别为扬麦 11、扬麦 158 和扬麦 16; 2 个强筋小麦品种分别为镇麦 168、中优 16。试验于 2011 和 2012 年分别在江苏省里下河地区农业科学研究所试验基地和江苏省海安县作物栽培试验站试验基地进行。全生育期施纯氮  $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 肥料运筹采用 4 种处理,除对照(全程不施肥)外,其他 3 种施肥处理分别为基肥、壮蘖肥、拔节肥比为 5:1:4(模拟大面积农户的种植方式),基肥、壮蘖肥、拔节肥比为 7:1:2(弱筋小麦配套栽培技术推荐使用的施肥方式)及基肥、壮蘖肥、拔节肥比为 5:4:1(美国农场软麦栽培模式)。随机区组设计,2 次重复,小区面积  $6.67 \text{ m}^2$ 。

### 1.2 性状测定

448 个试验单元收获籽粒后,测定小麦籽粒、外观和理化品质性状,以及按美国曲奇饼干标准制作饼干后,对饼干品质进行评分测定。共测定 48 个小麦籽粒外观、面粉理化品质和饼干品质(表 1),这些性状的测定方法见文献<sup>[7-9]</sup>。

表 1 性状编号及内容  
Tab. 1 The number and content of traits

编号	性状	编号	性状	编号	性状
1	产量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	17	吸水率/%	33	乳酸溶剂保持力/%
2	千粒重/g	18	形成时间/min	34	SDS 沉淀值/mL
3	容重/ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	19	稳定时间/min	35	峰值黏度/ $\text{Pa} \cdot \text{s}$
4	硬度/HB	20	断裂时间/min	36	低谷黏度/ $\text{Pa} \cdot \text{s}$
5	蛋白质含量/%	21	P 值/mm	37	稀懈值/ $\text{Pa} \cdot \text{s}$
6	称重/g	22	L 值/mm	38	最终黏度/ $\text{Pa} \cdot \text{s}$
7	清蛋白/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	23	G 值/mm	39	回升值/ $\text{Pa} \cdot \text{s}$
8	球蛋白/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	24	吹泡仪 W 值	40	峰值时间/min
9	醇溶蛋白/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	25	吹泡仪 P/L 比	41	糊化温度/ $^{\circ}\text{C}$
10	谷蛋白/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	26	吹泡仪 Ie/mm	42	曲奇花纹均评分
11	出粉率/%	27	L*	43	曲奇直径平均值/mm
12	水分/%	28	a*	44	曲奇厚度平均值/mm
13	面筋/%	29	b*	45	曲奇直厚比
14	降落值 L/s	30	水溶剂保持力/%	46	曲奇硬度/HB
15	降落值 R/s	31	蔗糖溶剂保持力/%	47	酥性饼干均评分
16	降落值平均/s	32	碳酸钠溶剂保持力/%	48	酥性饼干酥脆性

### 1.3 分析方法

在得到小麦品质性状的相关数据后,分析找出这些性状之间的关系。通过 Matlab 绘制这 1 128 个性状组合的散点图并求出相关系数  $r$ 。若散点图接近于均匀随机散布且相关系数小于 0.25, 将其归为无相关类型;若散点图无明显曲线趋势且相关系数(绝对值)在 0.25~0.75 之间,将其归为弱线性关系;若散点图无明显非线性关系,但相关系数在 0.75 以上,将其归为强线性关系;若散点图呈现明显非线性关系,则进行非线性回归分析。根据散点图走向确定非线性模型并估计非线性方程中的参数,对模型和回归统计数进行测验。鉴于非线性回归模型和参数估计的复杂性,这一过程有时需反复试验比较及统计测验,将不显著的效应项逐个剔除,才能获得合适的模型及参数估值。

2 结果与分析

2.1 无相关类型

在这 1 128 对两两性状中,关系极其微弱可视为无相关的性状有 700 对,占总数的 62%。这表明大多数小麦籽粒品质性状之间的关系很微弱,这些性状(对)多数是不同类型品质性状间的关系。对这些性状的相关选择没有作用,或对其中一个性状的选择不会影响另一个性状的表达。

2.2 弱线性关系

弱线性关系的性状有 358 对,占 31.7%,表明它们之间存在线性关系,但相关密切程度比较弱。如蛋白质含量和面筋含量为弱正相关( $r=0.707$ ,图 1),吹泡仪  $P$  值和美国曲奇饼干直径平均值为负相关( $r=-0.759$ ,图 2)。

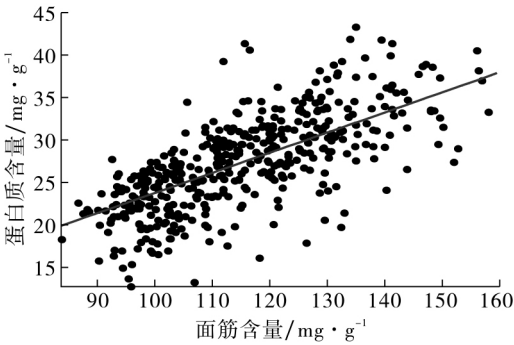


图 1 蛋白质和面筋含量的关系  
Fig. 1 The relationship of protein content and wet gluten content

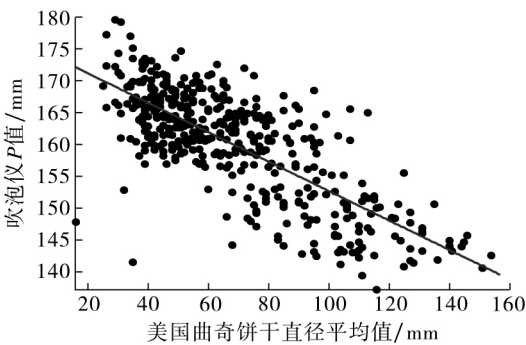


图 2 吹泡仪  $P$  值和美国曲奇饼干直径平均值的  
关系  
Fig. 2 The relationship of alveograph  $P$  value and American cookies diameter

2.3 强线性关系

由表 2 可知,强线性关系有 28 对,占 2.5%,它们往往是同 1 种理化指标的 2 个侧面,如降落值  $L$  和降落值  $R$  ( $r=0.958$ ,图 3)。

表 2 强线性关系对应的  $r$  值  
Tab. 2 The  $r$  of the corresponding strong linear correlation

$x_i x_j$	对应的性状	$r$	$x_i x_j$	对应的性状	$r$
$x_4 x_{43}$	硬度和曲奇直径	0.835	$x_{22} x_{23}$	吹泡仪 $L$ 值和 $G$ 值	0.994
$x_4 x_{44}$	硬度和曲奇厚度	0.819	$x_{24} x_{33}$	吹泡仪 $W$ 值和乳酸溶剂保持力	0.776
$x_4 x_{45}$	硬度和曲奇直厚比	0.837	$x_{30} x_{31}$	水溶剂保持力和蔗糖溶剂保持力	0.815
$x_{14} x_{15}$	降落值 $L$ 和降落值 $R$	0.958	$x_{30} x_{32}$	水溶剂保持力和碳酸钠溶剂保持力	0.772
$x_{14} x_{16}$	降落值 $L$ 和降落值(平均)	0.990	$x_{30} x_{43}$	水溶剂保持力和曲奇直径	0.824
$x_{15} x_{16}$	降落值 $R$ 和降落值(平均)	0.989	$x_{30} x_{44}$	水溶剂保持力和曲奇厚度	0.809
$x_{17} x_{30}$	吸水率和水溶剂保持力	0.813	$x_{30} x_{45}$	水溶剂保持力和曲奇直厚比	0.827
$x_{17} x_{43}$	吸水率和曲奇直径	0.807	$x_{35} x_{36}$	峰值黏度和低谷黏度	0.820
$x_{17} x_{44}$	吸水率和曲奇厚度	0.783	$x_{36} x_{38}$	低谷黏度和最终黏度	0.975
$x_{17} x_{45}$	吸水率和曲奇直厚比	0.804	$x_{36} x_{39}$	低谷黏度和回升值	0.941
$x_{19} x_{20}$	稳定时间和断裂时间	0.769	$x_{42} x_{43}$	曲奇花纹和曲奇直径	0.800
$x_{21} x_{24}$	吹泡仪 $P$ 值和 $W$ 值	0.769	$x_{43} x_{44}$	曲奇直径和曲奇厚度	0.818
$x_{21} x_{45}$	吹泡仪 $P$ 值和曲奇直厚比	0.768	$x_{43} x_{45}$	曲奇直径和曲奇直厚比	0.899

2.4 非线性关系

在农学研究中,变数之间最普遍的量化关系是非线性的,非线性关系若用线性相关表示其相关程度会有较大偏颇。而非线性类型很多,因此必须对 2 个变数的非线性关系做出合适的估计。根据绘制的散点图分布状况和趋势将非线性关系分为 3 类(递增趋势、递减趋势和有峰值的函数),并运用曲线拟合算法——缩张算法进行最优参数估计。

本试验中,非线性关系有 42 对,占 3.7%,其中属于递增模型的有 17 对,占 1.51%;属于递减模型的有 4 对,占 0.35%;属于具有低谷值的模型函数只有 1 对,占 0.09%。

2.4.1 递增模型

根据散点图的分布状况,得出模型(1):  $\hat{y} = \frac{b_1 + b_2x + \exp(b_3 + b_4x + b_5x^2)}{1 + b_6x^2}$ 。

符合该类模型的品质性状共有 11 对,它们的参数估计、显著性测验以及相关程度(拟合度)如表 3 所示。其中,降落值  $L$  和 RVA(回升值)的关系(图 4)经参数估计得到非线性方程:  $\hat{y} = \frac{-494.94 + 3.26x + \exp(3.08 + 1.2E-0.2x - 2.29E-0.5x^2)}{1 - 2.0E-0.3x^2}$ 。

表 3 性状间模型(1)的  $b$  值、 $t$  值和  $R^2$   
Tab.3 The value  $b$ ,  $t$  and  $R^2$  of the model (1) between the traits

编号	观察值	$b/t$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$R^2$
1	降落值 $L$ 和回升值	$b$	-494.94	3.26	3.08	1.200E-02	-2.290E-05	-2.00E-03	0.507
		$t$	-0.64	2.01	0.49	6.700E-01	-7.495E-01	-6.98E-01	
2	降落值 $L$ 和峰值时间	$b$	-1.684.80	1.56	7.43	-9.042E-04	-2.238E-07	-4.19E-04	0.271
		$t$	0.00	0.00	0.03	-1.899E-02	6.816E-03	-6.52E-03	
3	降落值 $L$ 和低谷黏度	$b$	-1.736.22	4.81	5.44	9.289E-03	-1.432E-05	-1.35E-03	0.410
		$t$	-0.48	1.13	0.77	3.941E-01	-4.722E-01	-2.48E-01	
4	降落值 $L$ 和最终黏度	$b$	-2.521.44	8.32	5.75	9.949E-03	-1.513E-05	-2.71E-03	0.489
		$t$	-0.52	1.39	0.90	4.587E-01	-5.440E-01	-3.44E-01	
5	降落值 $R$ 和低谷黏度	$b$	-10.187.97	19.72	8.83	5.391E-04	-3.897E-06	-8.13E-03	0.405
		$t$	-0.07	0.09	0.43	1.893E-02	-8.593E-02	-1.16E-01	
6	降落值 $R$ 和最终黏度	$b$	-25.051.34	39.00	9.89	3.031E-05	-2.583E-06	-1.17E-02	0.482
		$t$	-0.05	0.07	0.40	1.325E-03	-6.519E-02	-8.44E-02	
7	降落值 $R$ 和回升值	$b$	-26.219.11	12.07	10.11	3.009E-05	-1.046E-06	7.74E-03	0.505
		$t$	-0.02	0.03	0.19	2.009E-03	-2.872E-02	2.84E-02	
8	降落值平均值和低谷黏度	$b$	-26.988.21	12.90	10.09	2.535E-04	-1.481E-06	1.05E-02	0.417
		$t$	-0.03	0.05	0.30	1.545E-02	-4.510E-02	4.49E-02	
9	降落值平均值和最终黏度	$b$	-28.467.70	11.74	10.10	6.793E-04	-2.050E-06	1.67E-02	0.495
		$t$	-0.05	0.10	0.43	4.084E-02	-6.984E-02	6.22E-02	
10	降落值平均值和回升值	$b$	-1.191.75	2.05	6.11	6.008E-03	-9.234E-06	1.05E-03	0.517
		$t$	-0.21	0.33	0.67	2.523E-01	-2.901E-01	8.09E-02	
11	降落值和峰值时间	$b$	-1.576.47	1.57	7.36	-9.651E-04	-2.615E-07	-4.48E-04	0.276
		$t$	-0.01	0.01	0.08	-5.153E-02	-1.808E-02	-1.74E-02	

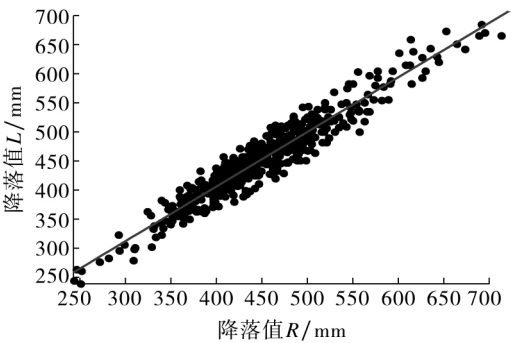


图 3 降落值  $L$  和降落值  $R$  的关系  
Fig.3 The relationship of falling number  $L$  and falling number  $R$

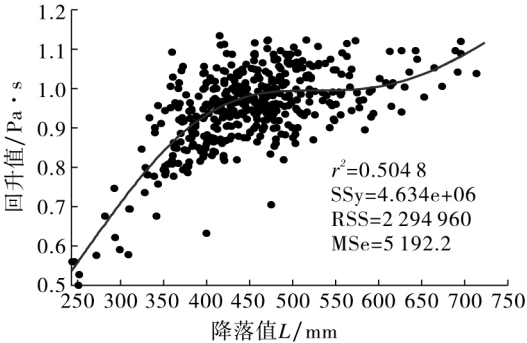


图 4 降落值  $L$  和回升值的关系  
Fig.4 The relationship of falling number  $L$  and RVA setback

这一函数的模型共有 6 个参数,散点趋势总体递增,在降落值  $L < 450$  时,回升值随降落值  $L$  增大迅速增大;  $450 < \text{降落值 } L < 600$  时,增速平缓;降落值  $L > 600$  时,增速又开始渐渐加快。散点集中在  $[350, 600]$  之间,两端分布的较少,拟合度(决定系数)  $R^2 = 0.5048$ ,相关程度不是很紧,它们之间除了上述非线性关系外,亦存在较大的随机误差(图 5)。

根据散点图的分布状况,可以得出另一种相对简单的递增型优化模型(2): $\hat{y}=\frac{b_1+b_2x}{1+b_3x}$ 。

符合该模型的性状(对)共有 6 个,它们的拟合参数以及测验见表 4。

表 4 性状间模型(2)的  $b$  值、 $t$  值和  $R^2$

Tab. 4 The value  $b$ ,  $t$  and  $R^2$  of the model (2) between the traits

编号	观察值	$b/t$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$R^2$
1	低谷黏度和回升值	$b$	1 582.10	-1 404.62	-8.55E-04	0.76
		$t$	9.64	-13.04	-4.23E+00	
2	峰值黏度和峰值时间	$b$	6.11	-1.97	-1.14E-03	0.35
		$t$	48.26	-3.61	-2.71E+00	
3	低谷黏度和峰值时间	$b$	6.30	-1.39	-1.08E-03	0.50
		$t$	32.82	-15.18	-3.02E+00	
4	最终黏度和峰值时间	$b$	6.05	-1.89	-1.07E-03	0.41
		$t$	83.78	-6.55	-4.68E+00	
5	回升值和峰值时间	$b$	5.87	-9.53	-5.31E-03	0.27
		$t$	276.15	-2.15	-6.35E+00	
6	峰值黏度和最终黏度	$b$	2 261.02	-14 486.97	-2.36E-03	0.66
		$t$	51.40	-4.28	-1.03E+01	

该函数呈递增趋势,低谷黏度随着回升值的增大而增大,但增加速度越来越慢,散点集中在[700, 1 200]这一区间内,拟合度  $R^2=0.7648$ ,相关程度较高。

2.4.2 递减模型

根据散点图的分布状况,递减类型非线性关系可用模型(2)表示。

符合该模型的变数(对)共有 3 个,它们的拟合参数以及测验见表 5。

表 5 性状间模型(3)的  $b$  值、 $t$  值和  $R^2$

Tab. 5 The value  $b$ ,  $t$  and  $R^2$  of the model (3) between the traits

编号	观察值	$b/t$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$r^2$
1	美国曲奇花纹评分(平均评分)和美国曲奇饼干厚度平均值	$b$	25.14	8.62	0.51	0.59
		$t$	89.26	5.06	5.64	
2	吹泡仪 $L$ 和吹泡仪 $P/L-e$	$b$	6.72	-0.04	0.05	0.45
		$t$	2.82	-5.20	1.56	
3	吹泡仪 $G$ 和吹泡仪 $P/L-e$	$b$	29.50	-1.03	0.52	0.45
		$t$	0.45	-0.47	0.38	

这一函数呈递减趋势,在美国曲奇花纹评分 $<2$ 之前递减较快,美国曲奇花纹评分 $>2$ 时递减速度变慢,美国曲奇饼干厚度平均值随着美国曲奇花纹评分的增大而减小,散点分布比较均匀,决定系数  $R^2=0.59$ ,拟合度不算很高,不管美国曲奇花纹评分,还是美国曲奇饼干厚度均有较大的随机误差(图 6)。

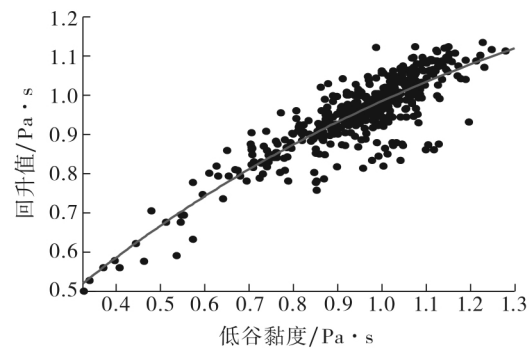


图 5 低谷黏度和回升值的关系

Fig. 5 The relationship of trough viscosity and setback

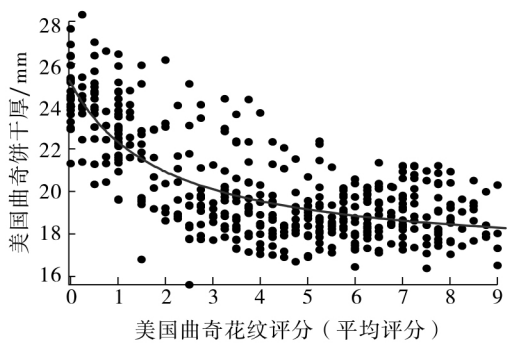


图 6 美国曲奇花纹均评分(平均评分)和美国曲奇饼干厚度平均值的关系

Fig. 6 The relationship of cookie pattern score (average score) and cookie thickness

递减模型的另外的函数关系还可使用模型(3)表示  $\hat{y}=x/(1+b_1x+b_2x^2)$ 。符合该模型的仅有美国曲奇饼干厚度平均值和美国曲奇饼干直厚比(图 7)。

散点分布均匀呈递减趋势, 决定系数  $R^2=0.9603$ , 具有很强的相关性, 这一函数的拟合度较高。

#### 2.4.3 低谷模型

根据散点图的分布状况, 找出优化模型(4):  $\hat{y} = \frac{b_1 + b_2x + b_3x^2}{1 + b_4x^2}$ 。符合该模型的仅有 1 对性状(图 8)。

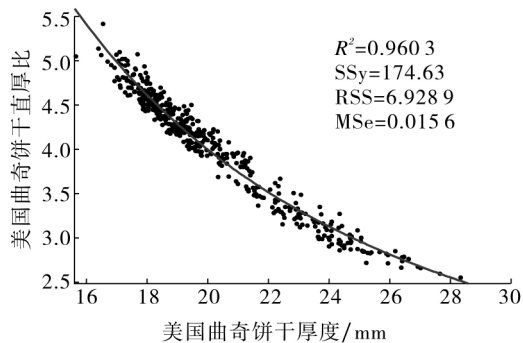


图 7 美国曲奇饼干厚度平均值和  
美国曲奇饼干直厚比的关系

Fig. 7 The relationship of cookie thickness and  
ratio of diameter and thickness

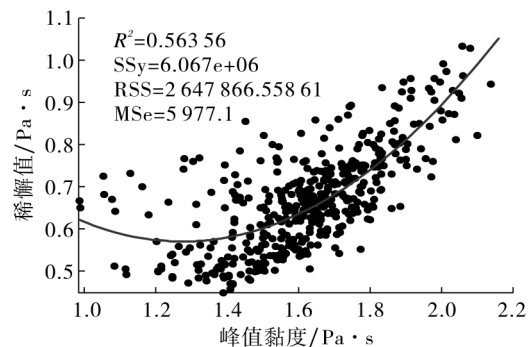


图 8 峰值黏度和稀懈值的关系

Fig. 8 The relationship of peak  
viscosity and breakdown

此函数有谷值, 散点集中分布在 $[1\ 200, 1\ 800]$ 这一区间, 由此可见峰值黏度和稀懈值之间存在一个最小值, 在小麦品质性状上要协调好两者关系。

### 3 小结与讨论

在农学生产中, 科学实验所获得的性状之间的数量关系绝大多数是非线性的。由于非线性回归模型比线性回归模型复杂, 不太容易计算出回归参数, 这极大地阻碍了非线性回归分析在农学及其他学科中的应用<sup>[5]</sup>。之前, 小麦品质性状间的关系较多地停留在线性关系上, 一些试验数据量较少或性状之间非常微弱的数量关系也只能用线性关系作简单的描述<sup>[10]</sup>。本试验积累了大量的数据资料, 其中一些性状之间的关系表现为明显的非线性关系, 因此用非线性关系能更准确地表达这些性状的相互关系, 并能将其应用到生产实践当中, 例如在有峰值关系的 2 个性状之间, 可以利用非线性的函数关系找出峰值并加以应用。然而小麦品质性状间的关系相当复杂, 这些非线性关系仅为比较初步的尝试, 因此找到性状间最优的精确非线性关系的难度巨大。另外, 本试验的数据量较大, 有些数据的采集难度较高, 有些数据可靠性尚有待甄别, 个别异常数值的出现会较大程度地影响非线性关系的确定, 最终影响精确非线性数量关系的获取。因此, 更深入、准确的非线性函数关系尚有待于进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 万富世, 王光瑞. 我国小麦品质现状及其改良目标初探 [J]. 中国农业科学, 1989, 22(3): 14-21.
- [2] 顾世梁, 惠大丰, 莫惠栋. 非线性方程最优拟合的缩张算法 [J]. 作物学报, 1998, 24(5): 513-519.
- [3] 李煜. 计算机曲线拟合在非线性回归分析中的应用 [J]. 河南大学学报, 1999, 29(3): 51-54.
- [4] 潘辉. 非线性模型最佳拟合方法的研究 [J]. 福建林业科技, 1995, 22(S): 88-92.
- [5] 张世强. 非线性生物模型回归参数计算的一个新方法及应用 [J]. 重庆医科大学学报, 2003, 28(6): 754-757.
- [6] 张春庆, 李晴祺. 影响普通小麦加工馒头质量的主要品质性状的研究 [J]. 中国农业科学, 1993, 26(2): 39-46.
- [7] 张勇, 何中虎, 王美芳, 等. 我国春麦区部分小麦品种品质状况分析 [J]. 麦类作物学报, 2002, 22(1): 27-32.
- [8] GAINES C S. Influence of chemical and physical modification of soft wheat protein on sugar-snap cookie dough consistency, cookie size, and hardness [J]. Cereal Chem, 1990, 67(1): 73-77.
- [9] ABOUD A M, HOSENEY R C, RUBENTHALER G L. Factors affecting cookie flour quality [J]. Cereal Chem, 1985, 62(2): 130-133.
- [10] 顾世梁, 万林生, 黄丽娟, 等. 曲线和曲面拟合的改进缩张算法 [J]. 作物学报, 2007, 33(4): 583-589.

(责任编辑 王子斌)