

春小麦烘烤品质与农艺性状 及其它品质性状间的关系*

张怀刚

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁, 810001)

O. M. Lukow 和 E. Czarnecki

谷物类作物 (一)

(加拿大农业部温尼伯研究所, 温尼伯, R3T 2M9)

摘要

本研究选用了10个中国春小麦品种和4个加拿大春小麦品种, 同时在加拿大Manitoba和Saskatchewan两省种植, 采用相关、通径和逐步回归分析研究了面包体积与21个农艺性状及其它品质性状间的关系。结果表明, 面包体积与蛋白质含量、蛋白质质量、 α 淀粉酶活性和籽粒硬度呈显著相关, 且蛋白质质量的作用大于蛋白质含量, 而与其它性状相关不密切。因此, 从中国春小麦选育优质面包品种应在一定蛋白质含量的基础上注重蛋白质质量的改良和低 α 淀粉酶活性的筛选, 并注意提高籽粒硬度。容重与面包体积间的相关极弱, 且直接效应不果为极弱的负值, 因此在面包小麦品质评价时不宜过分强调容重。

关键词: 春小麦; 烘烤品质; 农艺性状; 品质性状; 相关分析

面包品质的最准确测定方法是进行烘烤试验, 然而, 烘烤面包需要特定设备和较大样本, 不利于大量早代育种材料的筛选。为此, 育种家们展开了大量的相关研究(林作楫等, 1989; Baker等, 1971 a, b), 以期找到适宜的间接选择指标。研究表明, 面包体积作为面包烘烤品质的重要指标, 主要受蛋白质含量与质量的影响(Kosmolak等, 1979; Tipples等, 1974), 而且烘烤品质与蛋白质的高分子亚基有关(赵友梅等, 1990; Lukow等, 1990; Payne等, 1983)。笔者用中国春小麦与加拿大春小麦(包括优质的面包小麦)在相同环境及测试条件下通过相关、通径及逐步回归分析研究春小麦烘烤品质与农艺性状及其它品质性状的关系, 以探明影响春小麦烘烤品质的重要因素, 为中国春小麦品质育种提供依据。

* 该研究在A. B. Campbell博士指导下进行, R. M. Depaw博士在Swift Current种植材料, 陈集贤研究员审阅文稿, 特此致谢。

本文1993年4月19日收到。

一、材料与方法

选用了籽粒性状、磨粉特性、面团流变学特性及烘烤品质差异很大的14个春小麦品种¹⁾，其中10个主要来自中国西北和西南过去和/或现在大面积种植品种及新育成品种，其余4个为加拿大西部大面积种植或新育成品种，其中2个为加拿大西部硬红春麦（面包小麦），另外2个为加拿大草原春麦。1987年春将14个品种同时种于加拿大Manitoba省Glenlea和Saskatchewan省Swift Current，随机区组设计，分别重复4次和3次。对农艺性状、籽粒性状、磨粉特性、面团流变学特性及烘烤品质等在内的22个性状进行了研究分析，其测定方法见Lukow等（1990）和张怀刚等（1992）的描述。统计学的计算是在IBM PC/XT型计算机上进行的。

二、结果与分析

（一）相关分析

面包体积与面粉蛋白质含量、面团流变学特性中的粉质仪面团形成时间和稳定时间、公差指数、出粉率、面粉吸水率、淀粉损伤度、降落值等之间的表型及遗传相关都达极显著水平，与籽粒蛋白质含量之间的表型及遗传相关为显著正相关，与籽粒硬度（以研磨时间表示）之间为负相关，表型相关极显著，遗传相关显著，与和面仪面团形成时间之间的遗传相关达正向显著，与和面仪图谱峰高之间的表型相关达显著，与其余性状之间的遗传与表型相关均不显著（表1）。这表明面包烘烤品质与蛋白质含量及质量、 α -淀粉酶活性、籽粒硬度关系密切。

需要提出的是：（1）面包体积与沉淀值之间有一定的正相关关系，但未达到显著水平。Pratt等应用429个商品小麦样品进行分析也曾得到相仿结果，但与多数研究结果不一致（林作楫等，1989；Baker等，1971b）。这种差异可能是由于试验材料不同所致。

（2）面包体积与籽粒产量、容重、千粒重、株高之间为弱的正相关，与生育期之间为弱的负相关，这意味着育成兼具较高产量、较优烘烤品质和较早熟的品种是可能的。Sunderman也报道过面包体积与籽粒产量间没有明显相关（林作楫等，1989）。不过，本试验的籽粒产量水平较低，籽粒产量与面包体积的这种关系在较高籽粒产量水平下是否存在，尚待进一步研究。

（二）通径分析

1. 烘烤品质与农艺性状、籽粒性状及磨粉特性的通径分析

籽粒蛋白质含量和容重对面包体积的直接效应为负值，其余性状的直接效应都为正值（表2）。按正向直接效应从大到小的顺序排列是：Brabender磨面粉蛋白质含量、Brabender磨出粉率、籽粒硬度、籽粒产量、生育期、千粒重和株高。籽粒硬度对面包体积的直接效应为较大的正值，而相关系数则为显著的负值，这是因为籽粒硬度与出粉率和

1) 品种名称：高原182、高原338、高原506、高原614、青春5号、青农524、晋2148、金沙江3号、绵阳11号、巴麦8号、Columbus、Katepwa、HY320、Oslo。

表 1 面包体积与其它性状的表型和遗传相关

Table 1 Phenotypic and genotypic correlation coefficients between bread volume and other characters

性状 Character	表型相关 Phenotypic correlation (r)	遗传相关 Genotypic correlation (r)	性状 Character	表型相关 Phenotypic correlation (r)	遗传相关 Genotypic correlation (r)
1. GP	-0.0614	-0.3557	12. FY-BU	0.7320 **	0.8563 **
2. PH	0.2146	0.1948	13. FP-BU	0.6586 **	0.7581 **
3. GY	0.1735	0.5131	14. FNO	0.6518 **	0.7673 **
4. TW	0.2931	0.3231	15. AMY	0.3467	0.3925
5. TKW	0.2103	0.1671	16. SDS-sed	0.2474	0.4968
6. WPROT	0.4537 *	0.6265 *	17. ABS	0.6919 **	0.7376 **
7. GRT	-0.5224 **	-0.5747 *	18. FDT	0.6357 **	0.8831 **
8. FY-BR	0.7492 **	0.8688 **	19. STAB	0.4844 **	0.8763 **
9. FP-BR	0.6052 **	0.6806 **	20. MTI	-0.7486 **	-0.8745 **
10. MDT	0.3517	0.6185 *	21. SD	0.7735 **	0.9365 **
11. MPH	0.4216 *	0.4574			

注: Note:

(1) *、** 分别达 5%、1% 显著水平

Significant at the level of 5% and 1% probability, respectively

(2) GP—生育期(天)

Growth period(day)

PH—株高(厘米)

Plant height(cm)

GY—籽粒产量(公斤/亩)

Grain yield(kg/mu)

TW—容重(克/升)

Test weight(g/L)

TKW—千粒重(克)

Thousand kernel weight(g)

WPROT—籽粒蛋白质含量

Wheat grain protein(%)

GRT—粉碎时间(分)

Grinding time(min)

FY-BR—布拉本德磨出粉率

Brabender mill flour yield(%)

FP-BR—布拉本德磨面粉蛋白含量

Brabender mill flour protein(%)

MDT—和面仪面团形成时间(分)

Mixograph development time(min)

MPH—和面仪图谱峰高

Mixograph peak height(MU)

FY-BU—Buhler磨出粉率

Buhler mill flour yield(%)

FP-BU—Buhler 磨面粉蛋白含量

Buhler mill flour protein(%)

FNO—降落值(秒)

Falling number(s)

AMY—粘度仪最大粘度

Amylograph peak viscosity(BU)

SDS-sed—SDS沉淀值(厘米)

SDS-sedimentation value(cm)

ABS—粉质仪面粉吸水率

Farinograph absorption(%)

FDT—粉质仪面团形成时间(分)

Farinograph development time(min)

STAB—粉质仪稳定时间(分)

Farinograph stability(min)

MTI—粉质仪公差指数

Farinograph mixing tolerance index(BU)

SD—淀粉损伤度

Starch damage(%)

面粉蛋白质含量之间的高度负相关, 而 Brabender 磨出粉率和其面粉蛋白质含量对面包体积具有较大的正效应, 籽粒硬度通过 Brabender 磨出粉率及其面粉蛋白质含量对面包体积的间接效应为较大的负值, 二者较大的负效应掩盖了籽粒硬度的正效应, 结果表现极显著的负相关。籽粒蛋白质含量的直接效应为负值, 它与面包体积的显著正相关主要通过 Brabender 磨面粉蛋白质含量来实现。生育期、株高、籽粒产量、千粒重均表现出弱的正向直接效应, 容重却为极弱的负向直接效应。

2. 烘烤品质与蛋白质含量、 α 淀粉酶活性及流变学特性的通径分析

降落值、Buhler 磨面粉蛋白含量、和面仪面团形成时间、面粉吸水率和粉质仪稳

表 2 农艺性状、籽粒性状及磨粉特性对面包体积的通径分析

Table 2 Path analysis between bread volume and agronomic characters, kernel characters & milling properties

Character	GP	PH	GY	TW	TKW	WPROT	GRT	FY-BR	FP-BR	BV
GP	0.2454	0.0280	0.0921	-0.0152	0.0746	0.1568	-0.1832	-0.1580	-0.3020	-0.0614
PH	0.0458	0.1503	-0.0874	-0.0095	-0.0257	-0.1372	-0.2684	0.2991	0.2555	0.2146
GY	0.0747	-0.0434	0.3027	-0.0147	-0.0092	-0.0379	-0.2085	0.1966	-0.0868	0.1735
TW	0.1169	0.0417	0.1399	-0.0318	-0.0011	-0.0794	-0.5850	0.4372	0.2516	0.2931
TKW	0.0748	-0.0157	-0.0113	0.0001	0.2449	0.0810	-0.0650	-0.0023	-0.0961	0.2103
WPROT	-0.0700	0.0375	0.0209	-0.0046	-0.0361	-0.5495	-0.3665	0.4414	0.9806	0.4537
GRT	-0.0506	-0.0454	-0.0710	0.0209	-0.0179	0.2265	0.8893	-0.8161	-0.6582	-0.5224
FY-BR	-0.0383	0.0432	0.0588	-0.0137	-0.0006	-0.2397	-0.7172	1.0119	0.6448	0.7492
FP-BR	-0.0666	0.0345	-0.0236	-0.0072	-0.0211	-0.4841	-0.5259	0.5862	1.1131	0.6052

注：性状缩写符号同表1。

Note: The meanings of the character abbreviations are the same as in Table 1.

定时间对面包体积的直接效应为正值，其余5个性状的直接效应为负值（表3）。正向直接效应由大到小的顺序为：降落值、Buhler磨面粉蛋白质含量、和面仪面团形成时间、面粉吸水率和粉质仪稳定时间。负向直接效应由大到小的顺序为：粘焙力仪最大粘度、公差指数、沉淀值、和面仪图谱峰高和粉质仪面团形成时间。降落值和粘焙力仪最大粘度对面包体积的直接效应较大，表明 α 淀粉酶活性对烘烤品质影响较大。 α 淀粉酶活性低，降落值和粘焙力仪最大粘度增加，对面包体积的效应总和正值增大，面包体积增大。相反， α 淀粉酶活性强时，降落值和粘焙力仪最大粘度减小，对面包体积的效应总和正值减小，面团粘性大，面团形成时间缩短，公差指数增大，稳定时间缩短，面包体积缩小。另外，公差指数对面包体积的效应大于Buhler磨面粉蛋白质含量对面包体积的效应，说明蛋白质质量较蛋白质含量对面包体积更为重要。沉淀值对面包体积的直接效应为负值。

（三）逐步回归分析

用逐步回归分析法建立了包括籽粒性状、磨粉特性、蛋白质含量、面团流变学特性等在内的估测烘烤品质（面包体积）的方程，即

$$y = 73.2564 + 7.507661x_1 - 2.217996x_2 - 2.659447x_3 + 5.078900x_4 + 19.839140x_5 + 107.442800x_6$$

(R = 0.9292)

在逐步回归方程中，影响面包体积（y，立方厘米）的重要因素依其作用由大到小排列为：Brabender磨出粉率（%， x_1 ）、公差指数（BU， x_2 ）、沉淀值（立方厘米， x_3 ）、千粒重（克， x_4 ）、籽粒蛋白质含量（%， x_5 ）和籽粒硬度（分， x_6 ）。同样，公差指数较蛋白质含量对烘烤品质的作用大。回归分析表明，增加籽粒硬度以提高出粉率，改善蛋白质质量以减小公差指数，从而能获得较理想的烘烤品质。

表 3 蛋白质含量、 α 淀粉酶活性及流变学特性对面包体积的通径分析Table 3 Path analysis between bread volume and Protein content, α starchy enzyme & rheological properties

性状缩写 (Char.)	蛋白含量 (MPH) nitrogen	直链麦胶蛋白 (MDT) lysine	面筋蛋白 (FP-BU)	总蛋白 (FNO) lysine	粗蛋白 (AMY) lysine	出粉率 (MTI) water	品种 (SDS-sed)
MPH	-0.1729	0.0867	0.3137	0.2703	-0.1671	-0.1654	ND 600
MDT	-0.0591	0.2536	0.1215	0.2594	-0.2666	-0.2390	BR 11
FP-BU	-0.1470	0.0835	0.3691	0.3336	-0.1241	-0.1489	CEP 11
FNO	-0.0644	0.0906	0.1696	0.7260	-0.4703	-0.1291	CEP 11
AMY	-0.0531	0.1242	0.0842	0.6274	-0.5443	-0.1728	CLB 11
SDS-sed	-0.0949	0.2012	0.1823	0.3109	-0.3121	-0.3013	Wheat
ABS	-0.1193	0.0327	0.2850	0.3788	-0.1481	-0.0665	Wheat
FDT	-0.1168	0.1995	0.2542	0.3998	-0.2561	-0.2114	Wheat
STAB	-0.0928	0.1910	0.1793	0.3440	-0.2897	-0.1804	Wheat
MTI	0.0924	-0.1756	-0.2228	-0.5062	0.3356	0.1884	Wheat
Char.	ABS	FDT	STAB	MTI	BV		sed
MPH	0.0543	-0.0636	0.0151	0.2505	0.4216	0.6357	ND 600
MDT	0.0101	-0.0740	0.0212	0.3245	0.3517	0.4844	BR 11
FP-BU	0.0607	-0.0648	0.0137	0.2829	0.6586	0.6518	CEP 11
FNO	0.0410	-0.0518	0.0133	0.3268	0.6518	0.6518	CEP 11
AMY	0.0214	-0.0443	0.0150	0.2889	0.3467	0.3467	CEP 11
SDS-sed	0.0174	-0.0660	0.0168	0.2931	0.2474	0.2474	CEP 11
ABS	0.0786	-0.0558	0.0130	0.2935	0.6919	0.6919	CEP 11
FDT	0.0467	-0.0941	0.0238	0.3901	0.6357	0.6357	ND 600
STAB	0.0362	-0.0797	0.0281	0.3484	0.4844	0.4844	BR 11
MTI	-0.0492	0.0783	-0.0209	-0.4686	-0.7486	-0.7486	CEP 11

注：性状缩写符号同表1。
Note: The meanings of the character abbreviations are the same as in Table 1.

每个品种在各试验点的平均值构成28组数据，用以检验上述逐步回归方程的估算精度，其结果，平均精度为95.54%，精度较高。用此方程估算了1987年种植于加拿大 Saskatchewan省 Swift Current 的 4 个美国和加拿大春小麦新品系的烘烤品质，其试验及分析条件与本试验相同（表4），估算精度平均值为95.51%， χ^2 测验表明，估算值与实测值相符（表5）。

取每个品种在各试验点的平均值构成28组数据，用以检验上述逐步回归方程的估算精度，其结果，平均精度为95.54%，精度较高。用此方程估算了1987年种植于加拿大 Saskatchewan省 Swift Current 的 4 个美国和加拿大春小麦新品系的烘烤品质，其试验及分析条件与本试验相同（表4），估算精度平均值为95.51%， χ^2 测验表明，估算值与实测值相符（表5）。

表 4 用于估算面包体积的四个春小麦品系的技术资料

Table 4 Technical data of four spring wheat strains for estimating
their bread volume

品系 Strain	布拉本德磨出 粉率 (%) Brabender mill flour yield (%)	公差指数 (Bu) Mixing tolerance index (BU)	SDS沉淀值 (厘米 ³) SDS-sed (cm ³)	千粒重 (克) Thousand kernel weight (g)	籽粒蛋白质含量 (%) Wheat protein (%, 14%mb)*	粉碎时间 (分) Grinding time (min)
ND 606	60.0	10	56	38.4	14.9	0.54
BR 14	41.0	20	76	31.0	14.1	1.07
CEP 11	51.0	40	78	39.2	15.1	0.83
CEP 14	45.8	50	56	37.2	14.4	0.87

* 粒子蛋白质含量以籽粒含水量14%为基准计算。

Wheat protein content(%) was calculated on the 14% moisture basis of kernels.

表 5 面包体积估算值与实测值比较

Table 5 Comparison between estimated and actual values of bread volume

品系 Strain	实测值 (厘米 ³) Actual value (cm ³)	估算值 (厘米 ³) Estimated value (cm ³)	精度 (%) Precision (%)	备注 Note
ND 606	925	901	97.41	Actual $X^2=9.82$
BR 14	630	687	91.70	When $V=3$,
CEP 11	805	747	92.92	$X_{0.01}^2=11.34$
CEP 14	725	725	100.00	

三、讨 论

蛋白质含量与质量影响烘烤品质的事实已被许多学者证明，但其作用大小却因蛋白质含量水平而异。蛋白质含量对面包体积的直接效应较公差指数的效应小，这就意味着蛋白质质量起着更重要的作用。公差指数大，蛋白质质量差，和面时粘着器械，面包体积小。这就进一步印证了中国春小麦烘烤品质差的主要原因在于蛋白质质量差（张怀刚等，1992）。这与林作楫等（1989）在冬小麦上的研究结果和马长德等（1987）对中国北部冬麦区与美国太平洋西北部冬麦区小麦品种加工品质的分析结果一致。据研究，中国不乏高蛋白质的材料，只是蛋白质质量较差，不适于制作面包（林作楫等，1989；张怀刚等，1992）。为此，建议用中国高产高蛋白质材料与美国、加拿大的优质面包小麦杂交，培育出适用于烘烤面包的中国高产优质品种。

α 淀粉酶活性对烘烤品质也有很大影响。 α 淀粉酶的粘滞性可以糊化淀粉，当 α 淀粉酶活性高时，和面粘着器械，烘烤过程中面包维结构保持气体能力差，生产出的面包结构差，体积小。高的 α 淀粉酶活性，不仅降低小麦品质，而且易引起穗发芽。所以，在中国降水量大的南方冬麦区，选育 α 淀粉酶活性低的品种早已列入育种目标，而在北方一些地区至今未引起重视。今后，在中国北方降水较多的春麦区，应注重选育 α 淀粉酶

活性低的品种，并做到及时收获脱粒进仓，将 α 淀粉酶活性控制在较低水平以提高面粉的加工品质。

籽粒硬度与烘烤品质间也存在着密切相关。当以粉碎时间表示籽粒硬度时，粉碎时间越长，籽粒越软。籽粒越软，出粉率低，蛋白质含量低，最终烘烤品质变差。因此，鉴于中国目前春小麦品种籽粒偏软，育种上应提高籽粒硬度以适应烘烤面包的要求。事实上，近来中国不少省份育成品种的硬度比原农家品种有了很大的提高（常文锁等，1990；张怀刚等，1992）。

容重被世界上许多国家视为小麦品质的重要指标，作为收购、调运、进出口和加工的依据之一。容重与面包体积的遗传 ($r_g = 0.3231$) 和表型 ($r_p = 0.2931$) 相关较弱，且直接效应也为极弱的负值。林作楫等 (1989) 在冬小麦上也发现容重与面包体积为极弱的负相关 ($r_p = -0.0337$, $r_g = -0.0625$)，与面包评为极弱的正值 ($r_p = 0.0943$, $r_g = 0.1559$)。尽管容重高的籽粒出粉率高，面粉灰分低 (Pomerañz, 1978)，但在评价面包小麦品质时不宜过分强调容重。

参 考 文 献

- 马长德, G. T. Liu, G. L. Rubenthaler, 1987, 中国北部冬麦区与美国太平洋西北部冬麦区小麦品种加工品质的分析比较, 作物学报, 13(2), 129—134。
林作楫、周希丹、揭声慧、胡学义、丁霄霖、金茂国, 1989, 冬小麦烘烤品质与其它一些品质性状及产量性状间的相互关系, 作物学报, 15(2), 151—159。
赵友梅、王淑俭, 1990, 高分子量麦谷蛋白亚基的SDS-PAGE图谱在小麦品质研究中的应用, 作物学报, 16(3): 208—218。
张怀刚、O. M. Lukow and E. Czarnecki, 1992, 中加两国春小麦品种的比较研究, 高原生物学集刊, (11): 151—162。
常文锁、李宗智、张彩英、卢少源, 1990, 普通小麦硬度及其与其它品质性状相关的初步研究, 河北农业大学学报, 13(2): 6—10。
Baker, R. J., K. H. Tipples and A. B. Campbell, 1971a, Heritabilities of and correlations among quality traits in wheat, *Canadian Journal of Plant Science*, 51: 441—448.
Baker, R. J. and A. B. Campbell, 1971b, Evaluation of screening tests for quality of bread wheat, *Canadian Journal of Plant Science*, 51: 449—455.
Kosmolak, F. G. and R. L. Baker, 1979, Early generation screening for baking potential, *Canadian Journal of Plant Science*, 59: 21—26.
Lukow, O. M., H. Zhang and E. Czarnecki, 1990, Milling, rheological, and end-use quality of Chinese and Canadian spring wheat cultivars, *Cereal Chemistry*, 67(2): 170—176.
Payne, P. I., Linda. M. Holt, R. D. Thompson, Dorothea Bartels, N. P. Harberd, P. A. Harris and C. N. Law, 1983, The high-molecular-weight subunits of glutenin: classical genetics, molecular genetics and the relationship to breadmaking quality, Proc. 6th International Wheat Genetics Symposium, Kyoto, Japan, 827—834.
Pomeranz, Y., 1978, Wheat Chemistry and Technology, AACC, St. Paul, Minnesota, USA.
Tipples, K. H. and R. H. Kilboen, 1974, "Baking Strength Index" and the relation of protein content to loaf volume, *Canadian Journal of Plant Science*, 54: 231—234.

RELATIONSHIP OF BAKING QUALITY TO AGRONOMIC CHARACTERS AND OTHER QUALITY PROPERTIES

·強固。臺變質品表現突顯，那全靠 **IN SPRING WHEAT**。特強體制，才顯開
事。宋夏山店面表現過強，以東夷諸君高貴而土將貴，特強體制品支小春浦日國中王聖
·華府文常)高貴由大罪乞吉轉 **Zhang Huaiyang** 品以官貴食心不國中來說，1次

(Northwest Plateau Institute of Biology.

The Chinese Academy of Sciences, Xining, 810001)

O. M. Lukow and E. Czarnecki

(Agriculture Canada Research Station, 195 Dafoe Road, Winnipeg.)

Ten spring wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) from China and four spring wheat cultivars (*T. aestivum* L.) including bread wheat from Canada were tested in 1987 at Glenlea, Manitoba and Swift Current, Saskatchewan of Canada. Correlation analysis, path analysis and progressive regression analysis were applied to study the relationship of bread volume to 21 agronomic characters and other quality properties. The results are as follows.

1. Bread volume was mainly affected by protein quantity, protein quality, α -starch enzyme and kernel hardness. There was little to do with the other characters studied. Protein quality had a greater effect on bread volume than protein quantity. Therefore, in the spring wheat breeding for bread cultivars in China, attention should be put on improving protein quality, selecting lowd-starch enzyme and increasing kernel hardness on the basis of certain protein content level.

2. Test weight had a slight relation with bread volume and its direct effect on bread volume was slightly negative. So in the evaluation of bread wheat quality, test weight should not be overemphasized.

Key words: Spring wheat; Baking quality; Agronomic character; Quality property; Correlation analysis