

# 春小麦形态与籽粒赖氨酸含量的关系\*

肖瑜 黄相国 陈集贤

(中国科学院西北高原生物研究所)

## 摘 要

通过分析春小麦25个主要形态特征及其与籽粒赖氨酸含量的关系, 得出了目前品种条件下高赖氨酸含量的春小麦品种的理想型, 符合该特征的春小麦品种籽粒赖氨酸含量理论上达0.97%。另外, 本文对影响籽粒赖氨酸含量的主要形态因素、品质评价、品种分级、提供的主模型和系列模型的实用性及实践中的应用等方面做了讨论。

**关键词:** 赖氨酸; 春小麦形态; 理想型; 数量化方法

小麦籽粒赖氨酸含量的高低, 是评价该小麦品种品质性能的一个重要方面。小麦中所含赖氨酸含量很低 (FAO, 1970), 作为人体必需的一种氨基酸从面粉中直接吸收一般不能满足需要。多年来, 许多科学家为提高小麦赖氨酸含量从各方面做了大量工作 (Johnson 等, 1968; Mattern 等, 1970; Simmonds, 1972), 包括直接向面粉中添加赖氨酸 (Ferrel 等, 1970)。他们的工作是希望通过获得适宜的亲本材料以取得富含赖氨酸的突变体, 但迄今都未成功。我们在近年的工作中, 对已育成的某些春小麦品种研究后发现, 选择性育种对提高春小麦赖氨酸含量有所帮助, 但尚缺乏理论依据和选择标准; 特别是品质育种的工作, 在世界各国开展的广度和深度都较高产育种落后许多。为此, 我们希望能通过对春小麦形态特征的研究, 找出高赖氨酸含量的春小麦品种具有的共有形态特点及其最优组合, 并讨论影响籽粒赖氨酸含量的主要形态因素, 为提高春小麦的赖氨酸含量打下基础。

## 一、研究方法

### (一) 资料的选取与制备

首先根据对春小麦品种的一般性描述方式, 选择如下各时期 (或各生长部位) 的形

\* 工作中得到郁海、陈志国等同志的帮助, 特此致谢。

本文1990年7月30日收到。

态特征做为分析变量：幼苗、叶、茎、穗、芒、颖壳、籽粒。在每一分析变量下划分若干项目，幼苗分为芽鞘颜色，幼苗习性，苗色，幼苗绒毛；叶分为叶相，旗叶长度，旗叶宽度，叶色；茎分为株型，株高；穗分为穗长，每穗小穗数，每穗粒数，穗形；芒为芒长；颖壳分为颖壳颜色，颖壳茸毛，护颖形状，颖嘴形状，颖肩形状；籽粒分为籽粒形状，籽粒色泽，籽粒饱满度，腹沟，千粒重（考虑到千粒重不仅是一个重要的经济性状，而且还对春小麦的穗部形态特征产生很大影响，所以也选其做为一个分析项目）。随后按实际需要和工作方便将每一项目再划分为2—6个类目。这样，春小麦的形态特征共划分为7个分析变量，25个分析项目，77个分析类目。因每一变量中所含项目数和类目数各不相同，所以我们将项目做为分析基础。

从下面2部书中取得春小麦品种的一般性形态特征描述及其对应的籽粒赖氨酸含量资料：

《青海农作物品种志》（青海省农林科学院主编，1983，青海人民出版社）、《甘肃小麦品种志》（甘肃省农业科学院粮食作物研究所主编，1989，内部发行）。

从书中遴选记载详细和符合分析要求的品种，随后逐条填入春小麦形态特征与其籽粒赖氨酸含量的对应表（表1）。在每一项目中，形态描述落入某一类目，则该项目为1，否则为0。最后共选出80多个品种共90个样本（个别品种因在甘肃、青海的生长表现不同，赖氨酸含量也有差异，故此分别做为2个样本对待）。

## （二）春小麦形态特征与籽粒赖氨酸含量的相关性分析

在春小麦的形态描述中，定量化因素较少，而定性因素很多，用常规分析方法难以得出满意结果，所以我们采用数量化理论I进行分析处理（Adams, 1958; Hayashi, 1965）。这一方法的目的是定量估价定性变量对一个被称为客观指标（即因变量）的目标变量的影响，特别是要用线性函数中的定量变量来表示一个客观指标的定量变化。许多研究表明，这种方法对分析处理大量非数量化因素有很大价值（吉林大学概率统计教研室，1973；肖瑜，1990；徐振邦等，1983；铃木荣一，1979）。

考虑模型

$$\hat{Y}_i = C_0 + \sum_{j=1}^m \sum_{k=2}^{r_j} \delta_{i(j,k)} C_{jk} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$\delta_{i(j,k)} = \begin{cases} 1 & \text{研究单元因素 } X_i \text{ 取第 } k \text{ 类时} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

通过建立因变量Y与自变量的函数关系，为说明各项目m的重要性，将实数值 $C_{jk}$ 分配给从属于j项目的每一K类目。

为对因变量进行估计，求解上述模型时需运用最小二乘法原理。

## （三）春小麦形态特征与籽粒赖氨酸含量的相关性检验、各项目的贡献及赖氨酸含量的评价

(1) 以复相关系数表示模型的相关程度，并对复相关系数进行显著性检验（采用F检验）：

$$F = \frac{R^2/m}{1-R^2/n-m-1}$$

(2) 评价各项目对因变量的贡献程度, 采用得分范围:

$$\text{range}(j) = \max \hat{C}_{jk} - \min \hat{C}_{jk} \quad j = 1, 2, \dots, m$$

某一项目得分范围愈大, 则其对因变量的贡献也愈显著。

(3) 累计各项目中的类目得分最高值, 代入方程得到目前春小麦品种籽粒赖氨酸含量的潜在生产水平, 将其划分为 5 等级: 优、良、中、及格、差, 这样可对当前春小麦品种籽粒赖氨酸的含量进行评价分析, 提出高赖氨酸含量的品种应具有的主要形态特征和理想型。

## 二、研究结果与分析

根据表 1 数据经计算得如下预测春小麦籽粒赖氨酸含量的综合数学模型:

$$\begin{aligned} \hat{Y}_i = & 0.348 + 0.045\delta_{i(1,2)} - 0.054\delta_{i(2,2)} + 0.024\delta_{i(2,3)} + 0.001\delta_{i(3,2)} - \\ & 0.073\delta_{i(3,3)} + 0.024\delta_{i(4,2)} - 0.029\delta_{i(5,2)} + 0.017\delta_{i(5,3)} + 0.086\delta_{i(6,2)} + \\ & 0.024\delta_{i(6,3)} - 0.140\delta_{i(7,2)} - 0.080\delta_{i(7,3)} + 0.014\delta_{i(8,2)} + 0.027\delta_{i(8,3)} + \\ & 0.023\delta_{i(9,2)} + 0.054\delta_{i(9,3)} + 0.045\delta_{i(10,2)} + 0.031\delta_{i(10,3)} + 0.015\delta_{i(10,4)} + \\ & 0.053\delta_{i(10,5)} + 0.010\delta_{i(11,2)} - 0.081\delta_{i(11,3)} + 0.016\delta_{i(12,2)} - 0.033\delta_{i(12,3)} + \\ & 0.010\delta_{i(13,2)} - 0.041\delta_{i(13,3)} + 0.003\delta_{i(14,2)} - 0.018\delta_{i(14,3)} - 0.086\delta_{i(14,4)} - \\ & 0.032\delta_{i(15,2)} + 0.018\delta_{i(15,3)} + 0.014\delta_{i(16,2)} - 0.010\delta_{i(17,2)} - 0.034\delta_{i(18,2)} + \\ & 0.031\delta_{i(18,3)} + 0.018\delta_{i(18,4)} - 0.015\delta_{i(19,2)} - 0.020\delta_{i(19,3)} + 0.002\delta_{i(20,2)} - \\ & 0.009\delta_{i(20,3)} + 0.043\delta_{i(20,4)} - 0.002\delta_{i(21,2)} + 0.001\delta_{i(21,3)} + 0.021\delta_{i(22,2)} + \\ & 0.004\delta_{i(23,2)} + 0.011\delta_{i(23,3)} - 0.011\delta_{i(24,2)} - 0.026\delta_{i(25,2)} - 0.006\delta_{i(25,3)} - \\ & 0.003\delta_{i(25,4)} + 0.111\delta_{i(25,5)} \end{aligned}$$

复相关系数  $R = 0.776$ , 检验结果表明, 这一方程相关性紧密, 达极显著程度。在实践中应用时, 于 95% 的概率水准下该方程的误差限为  $\pm 0.10\%$ , 相对预测精度 96.4%。

通过按项目人为剔除各因素, 可以得到一系列相关与显著程度各不相同的籽粒赖氨酸含量与形态特征之间关系的数学方程 (表 2), 这些方程可为不同需要的育种工作者提供春小麦形态特征之间的组合关系, 从而间接得知这些组合的籽粒赖氨酸含量, 并在不同时期选用最适宜的组合, 以逐步提高春小麦籽粒赖氨酸的含量。

表 2 同时反映出在有 25 个项目参与的情况下每一项目的得分范围, 这一指标可表示该项目和因变量的相关程度及对因变量的作用大小。

通过综合分析并针对各项目的表现, 我们得出如下结论:

(1) 按各项目得分范围从高到低的顺序, 可排列出各项目对籽粒赖氨酸含量影响的递减序列: 旗叶宽度, 千粒重, 穗长, 穗形, 旗叶长度, 幼苗习性, 苗色, 护颖形状, 株型, 株高, 颖肩形状, 每穗粒数, 芒长, 每穗小穗数, 叶色, 芽鞘颜色, 叶相, 幼苗绒毛, 籽粒形状。结果表明, 非数量化因素的影响不容忽视。

(2) 在所分析的项目数减少时, 各项目得分范围有一定变动, 对籽粒赖氨酸含量影

响的大小也有一些调整,但重要因素的排列顺序变化不大,有明显变化的因素是那些受重要因素制约、和籽粒赖氨酸含量相关程度较小的非主导性因素。这就为育种工作者因不同目标选择不同组合提供了方便。

(3) 苗期形态特征单独不会对籽粒赖氨酸含量产生很大影响(表2),这说明籽粒中的赖氨酸含量受春小麦在中、后生长期的器官分化状况影响很大,而苗期的形态差异不大,各器官尚未完全建成,所以影响较小。从它们的得分范围也可看出,就整个生长过程和全部25个项目而言,春小麦在苗期所表现的形态特点对赖氨酸含量仍有一定影响,苗期形态与中、后期的形态相关较紧密。由此可进一步得出结论:根据苗期形态希望对春小麦的籽粒赖氨酸含量做早期预测会造成极大误差,最好不要只以各部特征对总体做出估计。

(4) 各项目对籽粒赖氨酸含量的贡献程度,除可从得分范围看出端倪外,根据人为剔除各项目后方方程复相关系数的变化程度也能得出一定结果。在有前11个项目参加的情况下(各项目名称见表1),拟合的数学方程经检验得知相关程度不显著。作者在此列出,只是做为参考,除特别需要外,实际工作中不应使用。

(5) 千粒重对籽粒赖氨酸含量的影响仅次于旗叶密度,列第2位。千粒重和形态指标(特别是穗部特征)有较密切的关系,摒弃这一经济性状对结果会产生一定影响。许多研究表明,小麦籽粒赖氨酸含量与多种生理、生化等因素关系密切,并据此提出某些改良方法(Simmonds, 1981)。这些探讨距离应用尚有很大差距,我们结合形态特征和千粒重讨论其与赖氨酸含量的关系,目的在于能在工作中方便应用。从此可以看出,非形态因素与小麦赖氨酸含量的关系也许比形态因素紧密的多,但在目前条件下尚不能使用人为控制或遗传方法改良小麦品质。因小麦品种的形态差异较大,且在不同地区也有改变,所以,这些干扰使得出的形态因素与籽粒赖氨酸含量的关系并非十分令人满意。不过,作为一种结合常规育种方法而提高小麦品质的手段,在实用中还具有一定价值。

(6) 采用数量化方法得出的主模型及其系列模型,对于估测或决定通过改良春小麦外形后籽粒赖氨酸含量的增加潜力及高赖氨酸含量的春小麦品种共有的最佳理想形态有较大意义。根据对主模型的分析,得出如下形态特征组合是目前品种条件下高赖氨酸含量春小麦品种的最佳理想型:

芽鞘微红,幼苗半匍匐,苗色绿,幼苗无绒毛,叶色浅绿,旗叶长15—25厘米,宽约1.0厘米,叶相中等挺直,株型中等紧凑,株高约110厘米,穗长8.1—10厘米,每穗小穗数16—20个,每穗30—40粒,穗棍棒形,长芒,颖壳红色,有茸毛,护颖卵圆形,颖嘴钝形,丘肩,籽粒椭圆形,白色,瘪瘦,腹沟深,千粒重50.1—55克。

符合上述形态特征的春小麦品种籽粒赖氨酸含量达0.97%,比目前品种含量的平均水平(90个样本平均赖氨酸含量为0.34%)高出近3倍。

经检验分析的样本,发现没有一个品种的形态特征与以上描述的理想型相符,样本中赖氨酸含量最高的品种(0.52%)也仅有11个项目与上相符,还不及上述总项目数的一半。由此可见,通过选择育种改进植株外形,对于提高春小麦籽粒赖氨酸含量有很大潜力。选育完全符合上述特征品种确实不易做到,但只有根据育种者掌握的亲本材料抓住主要特征,也可较大程度的提高目前品种的赖氨酸含量。例如,只要使某一春小麦

的形态符合得分范围占前 10 位项目的最大得分类目(旗叶宽度约 1.0 厘米,千粒重 50.1—55 克,穗长 8.1—10 厘米,穗棍棒形,旗叶长度 15—25 厘米,幼苗半匍匐,绿色,护颖卵圆形,株型中等紧凑,株高约 110 厘米),在不考虑其它形态特征时,籽粒赖氨酸含量最低也会达到 0.53—0.54%,平均达 0.72%,与目前品种品质相比,要提高许多。考虑主要类目的组合,以上所述并非最优,育种工作者可参照表 2 根据不同目标选择对产量和蛋白质含量影响较大的形态因素综合考虑,优化组合结构,这样可在改良品质的同时,不致使春小麦品种的经济产量降低,在某种程度上达到两者的调和。

(7) 需要指出,分析中所列最佳理想型的组合,仅是春小麦形态特征有可能达到组合总数的 1/587,731,230,700,即使得分范围占前 10 位的项目,组合总数也达 349,920 个。虽然通过选择性育种达到最佳理想型的概率极低,但正如本文下面要说明的,选择性育种改良品质是一个渐进的过程,在以上组合总数中,能提高籽粒赖氨酸含量的组合也不少。而且,经作者初步验证,许多不同形态特征的组合籽粒赖氨酸含量完全一致,这就为实际工作提供了方便。

(8) 本文仅探讨了籽粒赖氨酸含量与形态的关系,而未考虑形态同时对其它经济指标(如产量、蛋白质含量、蛋白质中赖氨酸含量等)的影响,得出结果有些与生产中的经验和需要相悖。作者认为,分析单项经济指标和形态的关系,是综合研究经济指标和形态之间关系的基础。单独对某些指标进行研究,难免出现不尽人意之处,若不进行这些单项研究,则很难深入理解综合指标。例如,本文所得最佳理想型中“籽粒瘪瘦,腹沟深”2 项,恰与生产实际需要相反。但若采用“籽粒饱满,腹沟浅”这一特征进而与其它形态相配合,籽粒赖氨酸含量仍可达 0.95%。实际上,理想型仅是对表现型的一般描述,工作中还须与经验相结合。正如 Donald (1968) 所言:“对理想型的确定程度取决于设计者的判断力。”

(9) 将处于理想型状态下的春小麦籽粒赖氨酸含量 0.97% 做为目前品种条件下可望达到的赖氨酸含量上限,将其分为 5 等分,依次可得出春小麦品种在某种外形时应具有的赖氨酸含量,最终了解该品种赖氨酸含量所处的等级(表 3)。根据本文划定的理论等级并参照研究的所有样本,可以发现目前品种的品质只处于中等或及格水平,一部分品质还较差,没有一个品种的赖氨酸含量达到优良标准。目前如以籽粒赖氨酸含量在中

表 3 春小麦籽粒赖氨酸含量的评价

Table 3 Evaluation on kernel lysine content of spring wheat

等级 Class	籽粒赖氨酸含量 Kernel lysine content (%)	评价标准 Evaluation criterion
I	0.79—0.97	优 Excellent
II	0.61—0.78	良 Good
III	0.43—0.60	中 Average
IV	0.25—0.42	及格 Below average
V	≤0.24	差 Poor

等以上做为育种目标,并按表 2 提供的组合方式,据分析,较高赖氨酸含量的形态组合出现概率约为 2/5。这些结果表明,通过选择育种提高春小麦籽粒的赖氨酸含量也需要一个相当长的时间过程,首先使目前品种的品质逐步提高一个水平,改进形态最终达到

春小春的理想型,这样才能使目前品种的赖氨酸含量有一较大提高。

表3是对某一品种籽粒赖氨酸含量的一个量度标准,在实际工作中,为使育种工作者在选择亲本材料培育高品质品种时使用方便,我们根据实测值与估计值之间的关系,结合品种的外部形态表现,并考虑主模型及其系列模型的实用性及存在问题,特将春小麦品种划分为3个等级,标准如下:

- I级品种  $Y_i \geq 1.05\hat{Y}_i$ ;
- II级品种  $\hat{Y}_i \leq Y_i < 1.05\hat{Y}_i$ ;
- III级品种  $Y_i < \hat{Y}_i$ ;

依据上述标准,在全部90个样本中可选出I、II、III级品种若干个。工作中,应选择有良好品质潜力的I级(或II级)品种做为亲本材料,这样可以较快地提高品种的籽粒赖氨酸含量。各品种所处的级位,可参加表1和主模型由读者自行判断。

### 三、讨 论

以上对春小麦籽粒赖氨酸含量和形态特征的分析,未直接考虑环境因素的影响,因此,我们在这里更强调植物的形态特征是它们对环境复合体的综合反应和体现,是随环境梯度按比例增减的缩影(Goodall, 1954),是对环境压力趋于符合的结果(Lieth et al., 1985),影响小麦籽粒赖氨酸含量的直接或间接因素很多,也许可以把这些因素象其对产量的影响那样划分为以下4个组别:生物组,气象组,土壤肥力组,农业技术组(刘树泽等, 1987)。本文仅是对生物组品种特性部分的研究,若需全面考虑,今后还要做大量工作,以综合探讨上述因素对籽粒赖氨酸含量的影响。

Donald (1968)在分析小麦高产理想型时曾有以下前提,即环境不能成为水分和养分的限制因素。虽然目前对籽粒赖氨酸含量与环境因素关系的研究尚缺乏系统资料,但我们认为,在使用本文提供的模型时,最好也以上述前提为条件,否则可能会造成一定误差。

综合上文分析,我们认为对春小麦籽粒赖氨酸含量和形态特征之间关系的研究可以在以下2方面得到应用:

- (1) 估测春小麦的品种赖氨酸含量潜力,做为品质育种的形态选择、杂交亲本选取以及丰富品质资源的理论和技术基础。
- (2) 预测春小麦品种(品系)的籽粒赖氨酸含量。

本文对春小麦形态特征的分析,选取的项目数很多,计算过程繁琐,并由于某些客观条件的限制,错处在所难免,得出的结论也有待与同行专家商榷。

### 参 考 文 献

- 刘树泽、张宏铭、蓝鸿第, 1987, 作物产量预报方法, 气象出版社。
- 吉林大学概率统计教研室, 1973, 数量化方法在研究台风预报和森林生长中的应用, 吉林大学学报, (3): 43—48。
- 肖 瑜, 1990, 环境因素对油松林木材生产影响的定量评价, 应用生态学报, 1(3): 193—200。
- 徐振邦, 代洪才, 李昕, 章依平, 郭杏芬, 1983, 云冷杉红松林高产结构的探讨, 东北林学院学报, 11(1): 12—23。
- Lieth, H. 和 R. H. Whittaker 主编, 1935, 生物圈的第一性生产力, 科学出版社, 264—283。
- 铃木荣一, 1979, 环境统计学, 情报处理の考元方, 地人书馆。

- Adams, F. G., 1958, The size of individual incomes: socio-economic variables and chance variation, *Rev. Econ. Stat.*, 40:390—398.
- Donald, C.M., 1963, The breeding of crop ideotypes, *Euphytica*, 17:385—403.
- FAO, 1970, Amino acid content of foods and biological data on proteins. FAO Nutritional Studies No. 24. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Ferrel, R.E., Shepherd, A.D. and Guadagni, D.G., 1970, Storage stability of lysine-fortified wheat, *Cereal Chem.*, 47:33—37.
- Coodall, D.W., 1954, Objective methods for the classification of vegetation. III. An essay in the use of factor analysis, *Aust.J.Bot.*, 2:304—324.
- Hayashi, C., 1955, On the prediction of phenomena from qualitative data and the quantification of qualitative data from the mathematical statistical point of view, *Ann.Int.Stat.Math.*, 3:69—98.
- Johnson, V.A., Schmidt, J.W. and Mattern, P.J., 1968, Cereal breeding for better protein impact, *Econ. Bot.*, 22:16—25.
- Mattern, P.J., Schmidt, J.W. and Johnson, V.A., 1970, Screening for high lysine content in wheat, *Cereal Sci. Today*, 15:409—411.
- Simmonds, D.H., 1972, Wheat grain morphology and its relationship to dough structure, *Cereal Chem.*, 49:324—335.
- Simmonds, D.H., 1981, Wheat proteins; their chemistry and nutritional potential, 149—166. In "Wheat Science: Today and Tomorrow" (Ed. Evans, L.T. and Peacock, W.J.). Cambridge Univ. Press.

## RELATIONSHIP OF SPRING WHEAT MORPHOLOGY TO ITS KERNEL LYSINE CONTENT

Xiao Yu, Huang Xiangguo and Chen Jixian

(Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of Sciences, Xining)

25 main morphological items of spring wheat (including both quantitative and qualitative) were correlated to kernel lysine content by using quantification theory I. The morphological items of communal ideotypes of variety with high lysine content were as follows: bud sheath slightly red, seedling semi-prostrate, green, no downy, leaf light green color, length and width of flag leaf 15—25 cm and about 1.0 cm respectively, leaf aspect middle erect, plant type middle compact, height about 110 cm, ear length 8.1—10 cm, number of spikelets per spike 16—20, number of kernels per spike 30—40 grains, ear clavate, awns long, glume color red, with downy, ovate, glumaceous mouth obtuse, glumaceous shoulder moundlike, seed elliptic, white, shrunken, furrow deep, 1000 grain weight 50.1—55 g. The morphology in accordance with the above description would reach 0.97% of kernel lysine content, The results showed that there would be a great potentiality for raising kernel lysine content by selective breeding improving morphology. In addition, the paper discussed the major morphological items affecting kernel lysine content, quality evaluation method classification of variety and practicality of the mathematical models. The study results would be utilized in the following 2 aspects: (1) estimating the potential kernel lysine content of spring wheat variety, serving as the

theoretical and technical foundations of morphological selection in quality breeding, selection of cross parental materials and multiplication of quality resources; (2) predicting the kernel lysine content of spring wheat variety (line).

**Key words:** Lysine; Morphology of spring wheat; Communal ideotype; Quantification method

## RELATIONSHIP OF SPRING WHEAT MORPHOLOGY TO ITS KERNEL LYSINE CONTENT

Xiao Yu, Huang Xiangguo and Chen Jitian

25 main morphological items of spring wheat, including both quantitative and qualitative) were correlated to kernel lysine content by using quantification theory. The morphological items of communal ideotypes of variety with high lysine content were as follows, but sheath slightly red, seedling semi prostrate green, no downy, leaf light green color, length and width of flag leaf 15-25 cm and about 1.0 cm respectively, leaf aspect middle erect, plant type middle compact, height about 110 cm, ear length 8.4-10 cm, number of spikelets per spike 18-20, number of kernels per spike 30-40 grains, ear clavate, awn long, glume color red, with downy awns, glumetrous mouth obtuse, glumetrous shoulder moundlike, seed elliptic, white, shrunk, furrow deep, 1000 grain weight, 50.1-55 g. The morphology in accordance with the above description would reach 0.95% of kernel lysine content. The results showed that there would be a great possibility for raising kernel lysine content by selective breeding improving morphology. In addition, the paper discussed the major morphological items affecting kernel lysine content, quality evaluation method classification of variety and practicality of the mathematical model. The study results would be utilized in the following 3 aspects: (1) finding the potential kernel lysine content of spring wheat variety, serving as the