

# 不结球白菜品质性状与矿质营养的典型相关及逐步回归分析

崔秀敏<sup>1</sup>, 张义凯<sup>1</sup>, 王秀峰<sup>2</sup>, 刘春生<sup>1</sup>, 陈秀灵<sup>1</sup>

(1. 山东农业大学 资源与环境学院, 山东 泰安 271018; 2. 山东农业大学 园艺科学与工程学院, 山东 泰安 271018)

**摘要:** 选用 42 个不同生态型的不结球白菜品种, 研究 3 叶片粗纤维、Vc、可溶性糖、有机酸、氨基酸、综合风味等品质性状与 N、P、K、Ca、Mg、S 等矿质营养元素之间的关系, 旨在探讨不结球白菜品质性状与育种中利用一些简单易测的矿质元素来筛选品质指标, 并通过施肥措施提高其品质的可行性。典型相关和双重筛选逐步回归分析表明: 不结球白菜叶片 N、K、S 与品质性状的相关性均达到显著或极显著水平。品质性状与矿质元素的相关主要由品质性状的粗纤维、Vc、NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和矿质营养性状中的 N、K、S、Mn 的相关引起。N、K 对品质性状起着直接的正向效应, 氮的正向作用有一定的适度范围, 而钾起着绝对“品质元素”的作用, 硫对综合风味的负效应最强, 可能与硫含量的高低影响风味物质的合成有关。

**关键词:** 不结球白菜; 品质性状; 矿质营养元素; 综合风味

中图分类号: S634 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2008)增刊-0025-04

## Canonical Correlation and Stepswise Regression Analysis between Quality Traits and Mineral Elements in Non-heading Chinese Cabbage

CUI Xiu min<sup>1</sup>, ZHANG Yi kai<sup>1</sup>, WANG Xiu feng<sup>2</sup>, LIU Chun sheng<sup>1</sup>, CHEN Xiu ling<sup>1</sup>

(1. College of Resource and Environment Science, Shandong Agricultural

University, Taian 271018, China; 2. College of Horticulture Science and Engineering, Shandong

Agricultural University, Taian 271018, China)

**Abstract:** 42 different ecotype non-heading Chinese cabbage varieties were selected to research the relation between the quality traits like crude fiber, Vc, soluble sugar, organic acid, amino acid, composite flavor and mineral elements like N, P, K, Ca, Mg, S. The purpose was to discuss the feasibility of mensurating some simple index to screen the quality target and improve quality by fertilizing during breeding process. The canonical correlation and the dually screening and gradual regression were used to analyze the correlation between two group traits. The results indicated that the quality character significantly correlated with N, K, S in leaves. It was mainly caused by the correlation between crude fiber, Vc, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and N, K, S and Mn. N, K took directly positive effect to quality traits, but N did its work in appropriate extent, and K was perfectly “quality factor”. The sulfur was negatively strongest factor to the composite flavor, which was possibly because that sulfur content influenced the synthesization of flavor material.

**Key words:** Non-heading Chinese cabbage; Quality traits; Mineral elements; Composite flavor

不结球白菜 (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* Makino, 又名小白菜) 原产中国, 栽培历史悠久, 是南北方普遍种植的大众化蔬菜。它不仅可以增加饮食的品种、滋味、兴趣以及调节胃口, 更重要的是它可以提供人体必需的营养物质, 如 Vc、可溶性糖、粗纤维、有机酸以及多种微量元素。不结球白菜育种中, 常希望获得具有多个优良性状的品种, 但是由于某些目标性状遗传力较低, 彼此之间又有错综复杂的关系, 给育种工作带来了很多困难。为了提高育种的选择效率, 有必要分析不同性状间的相互关系。

维、有机酸以及多种微量元素。不结球白菜育种中, 常希望获得具有多个优良性状的品种, 但是由于某些目标性状遗传力较低, 彼此之间又有错综复杂的关系, 给育种工作带来了很多困难。为了提高育种的选择效率, 有必要分析不同性状间的相互关系。

收稿日期: 2008-09-21

基金项目: 山东省教育厅计划资助项目(32353); 山东农业大学青创基金资助(23420)

作者简介: 崔秀敏(1977-), 女, 山东茌平人, 博士, 副教授, 主要从事植物营养教学和科研工作。

通讯作者: 刘春生(1955-), 男, 山东费县人, 硕士, 教授, 博士生导师, 主要从事植物营养调控机理及肥料科学与教学工作。

典型相关分析是研究两组性状间相关问题的多元统计分析方法,可构造多目标的综合选择指数,并确定出紧密关联的性状。典型相关分析在水稻、小麦、玉米、大豆等作物育种中的应用已有许多报道,但在不结球白菜品质育种中还未见相关研究。

本研究结合系统评分法和化学测定法,对 42 个不同生态型的不结球白菜品种进行品质性状综合鉴定。并对其品质性状与矿质营养元素进行典型相关和双重筛选逐步回归分析,旨在确定影响品质性状的关键矿质营养因素,建立品质性状与矿质元素性状间的量化关系,为不结球白菜的早代品质育种选择提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

42 个不结球白菜品种分别为苏州青、雪克青、矮脚黄等。田间采用随机区组设计,3 次重复,小区面积 10 m<sup>2</sup>。供试土壤 pH 7.15,碱解氮 80.23 mg/kg,速效磷 35.26 mg/kg,速效钾 136.5 mg/kg,交换性钙 8.263 g/kg,交换性镁 0.518 2 g/kg,有效硫 69.65 mg/kg,有效铁 241.6 mg/kg,有效锰 127.6 mg/kg,有效铜 20.39 mg/kg,有效锌 18.27 mg/kg,有效硼 82.49 mg/kg。播种前施腐熟鸡粪 60 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,45 d 生长期,生长中期喷施一次尿素和磷酸二氢钾。采收后,部分新鲜叶片测定品质性状指标,其余烘干测定矿质营养元素含量。矿质营养元素指标: X1(N)、X2(P)、X3(K)、X4(Ca)、X5(Mg)、X6(S)、X7(Fe)、X8(Cu)、X9(Mn)、X10(Zn)、X11(B);品质指标: Y1(粗纤维)、Y2(Vc)、Y3(可溶性糖)、Y4(有机酸)、Y5(氨基酸)、Y6(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)、Y7(叶绿素)、Y8(综合风味)。

### 1.2 试验方法

1.2.1 矿质元素测定 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮,蒸馏法测全 N,钼锑抗显色法测全 P,火焰光度计法测全 K;HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub> 消煮,参照 Tabatabai 法测全 S<sup>[1]</sup>,WFX-

IE2 型原子吸收分光光度计测 Ca、Mg、Fe、Mn、Zn、Cu,姜黄素法测 B<sup>[2]</sup>。

1.2.2 品质指标测定 叶绿素(SPAD-502)、Vc(2,6-二氯酚钠盐法)、可溶性糖(蒽酮法)、有机酸(酸碱中和滴定法)、粗纤维(酸碱洗涤法)、氨基酸(日立 83550 型测定)。综合风味评定:供试材料收获时每小区随机取样 20 株,每份样品取 250 g,加食盐 2 g,旺火炒食 5 min 后装盘品尝。采用系统评分法,指标包括色泽、鲜味、甜味、质地、水分、易烂程度和综合印象。

1.2.3 统计分析 典型相关、逐步回归分析按唐启义的 DPS 分析软件进行<sup>[3]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不结球白菜品质性状的相关分析

由表 1 可以看出,除有机酸与其他各品质性状为负相关外,不结球白菜品质性状间均存在极显著正相关。综合风味是人们对白菜的外观、口感、口味、营养等性状的一个综合评价。与综合风味相关最密切的品质因素是粗纤维,其次是叶绿素、可溶性糖、有机酸、氨基酸、Vc、硝酸盐。粗纤维含量的高低与品尝中的质地、易烂程度关系密切;白菜叶片叶绿素含量影响其色泽,炒食后对评价者的视觉冲击最大,直接影响了对其综合品质的评价。如颜色较深的白菜在泰安地区比较受欢迎,得分较高。可溶性糖与甜度关系密切,对口味影响较大;有机酸和氨基酸主要影响鲜味和口感。人们对炒食的蔬菜往往从色香味给予综合评价,不同年龄、地区和消费习惯的群体之间差异很大,这反映出综合风味评价是一个十分复杂的性状。

对综合风味与品质性状指标作逐步回归分析,直接通径系数最大的为粗纤维,其次为叶绿素、可溶性糖、Vc,而 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 对综合风味起着直接和间接的负向作用。

表 1 不结球白菜品质性状的相关性

Tab.1 Correlation coefficient between quality traits of non heading chinese cabbage								
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
Y1	1.000							
Y2	0.726 5**	1.000						
Y3	0.865 4**	0.578 2**	1.000					
Y4	- 0.828 3**	- 0.549 9**	- 0.819 1**	1.000				
Y5	0.918 4**	0.678 1**	0.785 2**	- 0.784 7**	1.000			
Y6	0.913 7**	0.682 3**	0.784 0**	- 0.715 9**	0.874 5**	1.000		
Y7	0.753 9**	0.626 0**	0.667 0**	- 0.630 1**	0.676 2**	0.685 9**	1.000	
Y8	- 0.830 7**	0.707 4**	0.790 0**	- 0.742 2**	0.720 7**	0.665 7**	0.818 4**	1.000

### 2.2 品质性状与矿质营养元素的相关性

由表 2 可以看出,矿质营养元素 N、K、S 与品质性状的关系最密切,均呈显著或极显著相关,说明白

菜叶片中 N、K、S 的含量对蔬菜品质贡献最大,其次是 P、Fe。除了与有机酸呈显著负相关外,N、K 对其他 7 个品质指标均呈显著正相关,P 的效应相反。S

含量与 Y3(可溶性糖)、Y6(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)、Y7(叶绿素)、Y8(综合风味)呈显著负相关,说明在试验条件下,叶片中S含量的提高可降低 Vc、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、叶绿素含量。在所有品质指标中,S对综合风味影响最大(负效应),可能是因为S的多少直接影响含硫蛋白(含蛋氨酸、半胱氨酸)以及许多低芥酸和低硫葡萄糖甙的含量,

因而影响小白菜的风味物质。Ca、Mg、B含量与品质指标的关系不显著,并非说明这3种矿质营养元素与品质的关系不密切,而可能是通过影响其他因素间接起作用。虽然不结球白菜对B需求量较大,它的营养效率最大期在开花结荚期,对于主要食用苗期营养器官的小白菜来说,土壤中硼基本能满足其需要。

表2 不结球白菜品质性状与矿质营养元素的简单相关  
Tab.2 Simple relation of quality traits and mineral elements in leaves of non heading chinese cabbage

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B
Y1	0.934**	- 0.393**	0.877**	0.125	0.132	0.535**	0.427**	0.404**	0.135	0.246	0.145
Y2	0.705**	- 0.486**	0.585**	0.140	- 0.212	0.493**	0.579**	0.377*	0.636**	0.435**	0.064
Y3	0.762**	- 0.321*	0.850**	0.049	0.116	- 0.461**	0.352*	0.393**	- 0.022	0.161	0.082
Y4	- 0.812**	0.304*	- 0.870**	0.124	- 0.273	0.586**	- 0.284	- 0.264	0.004	- 0.184	- 0.107
Y5	0.930**	- 0.460**	0.782**	- 0.031	0.226	0.395**	0.390*	0.415**	0.158	0.304*	0.143
Y6	0.908**	- 0.427**	0.754**	0.072	0.112	- 0.340*	0.419**	0.460**	0.195	0.360*	0.005
Y7	0.689**	- 0.248	0.619**	0.170	0.077	- 0.447**	0.284	0.329*	0.170	0.178	- 0.007
Y8	0.768**	- 0.301	0.794**	0.008	0.092	- 0.613**	0.361*	0.232	0.097	0.180	0.088

表3 不结球白菜品质性状与矿质营养的典型相关系数  
Tab.3 Canonical correlation coefficient between quality traits and mineral elements

No.	典型相关系数 Canonical correlation coefficient	卡方值 $\chi^2$	自由度 DF	显著水平 Significant level	$\chi^2/\sum\chi^2/\%$
1	0.995 2	296.30	88	0.000 0	49.91
2	0.940 2	147.00	70	0.000 0	24.76
3	0.861 3	79.62	54	0.013 2	13.41

2.3 不结球白菜品质性状与矿质营养元素的典型相关

由表3可以看出,品质性状与矿质营养性状的8个典型相关系数中,前3个较大且呈显著或极显著相关,包含的相关信息占两组变量间总相关信息的88%。因此,对前3对典型变量的系数进行分析基本上就反映了这两组变量间相关的主要信息。分析前3对典型变量的构成(表4)可知,U1中X1(N)、X3(K)的权重系数较大,V1中Y1(粗纤维)的权重系数明显大于其他品质性状的系数,说明第一对典型变量的相关主要是由粗纤维和氮、钾的相关引起,即N、K含量影响粗纤维含量,而粗纤维含量

将直接影响到消费者对白菜质地、易烂程度的评价。U2中X9(Mn)的权重系数较大,而V2中Y2(Vc)的系数明显大于其他品质性状系数,表明第二对典型相关变量主要由Vc和Mn的相关引起,而Mn对Vc的形成具有显著的促进作用<sup>[4]</sup>。U3中X1(N)、X6(S)的权重系数较大,均为负值,X3(K)的权重系数为正值,V3中Y1(粗纤维)、Y6(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)的系数较大,表明第3对典型变量的相关由氮、硫和粗纤维、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的相关引起。综合前3对典型变量分析可以看出,品质性状与矿质营养性状的相关主要由品质性状的粗纤维、Vc、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>和矿质营养性状中的氮、钾、硫、锰的相关引起。

表4 品质性状与矿质营养元素前3对典型变量的构成  
Tab.4 First 3 pairs canonical variables for quality traits and mineral elements

U1= 0.857 8X1+ 0.021 0X2+ 0.463 2X3+ 0.137 2X4- 0.010 5X5- 0.059 3X6- 0.062 1X7+ 0.071 4X8+ 0.110 1X9- 0.060 4X10+ 0.044 7X11
V1= 0.916 1Y1+ 0.088 0Y2- 0.172 6Y3- 0.276 9Y4- 0.101 0Y5+ 0.138 7Y6- 0.075 8Y7+ 0.106 5Y8
U2= - 0.122 8X1+ 0.311 2X2- 0.240 8X3- 0.196 0X4- 0.226 3X5- 0.278 0X6+ 0.377 1X7- 0.017 3X8+ 0.662 1X9+ 0.224 1X10+ 0.072 8X11
V2= - 0.226 9Y1+ 0.923 2Y2- 0.097 6Y3- 0.014 8Y4- 0.188 0Y5- 0.055 3Y6+ 0.008 9Y7- 0.219 1Y8
U3= - 0.607 3X1+ 0.022 0X2+ 0.537 1X3+ 0.345 5X4- 0.045 4X5- 0.308 9X6+ 0.103 1X7- 0.294 7X8- 0.022 1X9- 0.075 6X10+ 0.147 2X11
V3= 0.771 0Y1+ 0.041 9Y2+ 0.088 9Y3- 0.007 9Y4- 0.399 8Y5- 0.473 5Y6+ 0.019 9Y7- 0.106 7Y8

由于矿质营养元素之间存在显著的协助或拮抗的相关关系,会使某些营养性状对品质性状的效应互相混淆。为了进一步了解各矿质营养元素对品质性状的相对重要性,利用双重筛选逐步回归分析筛

选影响不结球白菜品质性状的关键矿质营养指标。以11个矿质营养性状为自变量,以8个品质指标为因变量,进行逐步回归分析。首先对自变量进行筛选,然后对因变量进行筛选,再对入选的性状进行逐

步回归,结果如表 5 所示。双重回归入选的矿质营养性状包括  $X1(N)$ 、 $X6(S)$ 、 $X5(Mg)$ 、 $X3(K)$ 。影响  $Y1$ (粗纤维)的关键营养因素为  $X1(N)$ ,影响  $Y2(Vc)$ 的关键因素为  $X6(Mg)$ 、 $X5(S)$ ,影响  $Y7$ (叶绿素)的关键因素为  $X6(S)$ 、 $X1(N)$ ,影响  $Y6(NO_3^-)$ 的

表 5 品质性状与矿质营养元素的逐步回归分析

Tab. 5 The stepwise regression analysis of quality traits to mineral elements

Regression equation	Dependent variable	Relative coefficient
$Y1= 0.5455X1+ 0.2416X3+ 0.2574X4- 0.0515X6- 0.0002X7+ 0.0068X8+ 0.0008X11- 0.1734$	$X1$	0.9892**
$Y2= 0.5191X1+ 0.1852X3- 2.806X5- 3.052X6+ 0.0023X7+ 0.0706X9+ 3.041$	$X6、X5$	0.9559**
$Y6= 0.8944X1+ 0.1431X3+ 0.1604X4+ 2.389X6- 0.0002X7+ 0.0370X8- 0.0046X11- 1.026$	$X6$	0.9548**
$Y5= 0.6996X1+ 0.07154X3- 0.01581X4+ 0.8131X6- 0.0005X7+ 0.0252X8+ 0.0014X11- 0.436$	$X6$	0.9527**
$Y4= - 0.0650X1- 0.0601X3+ 0.0094X4+ 0.2997X6+ 0.0002X7- 0.0012X8- 0.0002X11+ 1.047$	$X6$	0.9104**
$Y3= 0.2466X1+ 0.3524X3- 1.814X5+ 0.84X6+ 0.0002X7- 0.0120X9+ 0.4894$	$X5$	0.8834**
$Y8= 0.6118X1+ 0.4999X3- 1.315X5- 4.595X6- 0.0001X7+ 0.0061X9+ 3.128$	$X6、X5$	0.8565**
$Y7= 0.3216X1+ 0.1180X3+ 0.2204X4- 0.538$	$X1、X4、X3$	0.7424**

对综合风味与矿质营养元素进行逐步回归分析,剔除所有通径系数中不显著的因素,最后剩下矿质营养 N、K、S 的直接通径系数达到 5% 显著水平。其中 K 的直接通径系数最大(0.3895),其次是 N(0.3440),S(−0.2438)的直接通径系数为负,说明硫在叶片内的含量影响含硫化化合物的合成,在炒食后直接影响到人们对口味的评价。S 必须与氮、钾合理搭配,才能提高其综合风味。这提示我们平衡施肥、科学配比在不结球白菜栽培过程中对提高品质是十分重要的<sup>[5]</sup>。

### 3 讨论与结论

综合风味评定指标质地、易烂程度、水分、甜味、鲜味等是粗纤维、Vc、可溶性糖、叶绿素、氨基酸等物质的综合体现。逐步回归分析表明,对综合风味影响较大的品质指标为粗纤维、Vc、可溶性糖,这与于占东在大白菜上的研究结果基本一致<sup>[6]</sup>。综合风味不但在供试品种之间存在明显差异,而且在评审人员间也存在显著差异,即不同年龄、不同消费习惯的人们品尝口味不同。

不结球白菜品质性状与某些矿质营养元素间关系密切,典型相关分析和逐步回归分析的结果基本一致,氮、硫、钾、锰、镁、钙是影响品质性状粗纤维、Vc、NO<sub>3</sub><sup>−</sup>的关键矿质元素。氮素过多会使细胞增长过大,细胞壁薄,植株柔软多汁,易受机械损伤和病菌侵袭。氮素过多还要消耗大量碳水化合物,降低蔬菜的品质<sup>[4]</sup>,故氮与粗纤维的正效应有一定的适宜范围。钾对综合风味存在显著的正效应,且直接通径系数最大,证明钾在改善白菜的色泽、营养、风味等方面确实起着“品质元素”的作用<sup>[4]</sup>。硫对不结球白菜综合风味存在显著的负效应,可能是因为试

验地硫素较高(前茬曾施硫磺粉),而过多的硫会影响蛋氨酸、半胱氨酸以及风味物质(异硫氰酸盐、亚矾等)的形成,因而影响小白菜的综合风味<sup>[7]</sup>。

不结球白菜系鲜食性蔬菜,有效地提高干物质、维生素 C、可溶性糖等含量和降低粗纤维、有机酸含量是提高品质育种的主要技术目标之一<sup>[8]</sup>。前人对白菜粗纤维、有机酸、Vc、可溶性糖、可溶性氨基酸和 NO<sub>3</sub><sup>−</sup>含量的遗传力分析存在分歧<sup>[7-9]</sup>,但有一点共识就是品质性状受栽培环境影响较大。本研究所用材料是在施肥水平和采收期一致的情况下,可溶性糖、氨基酸和 NO<sub>3</sub><sup>−</sup>含量与矿质元素的相关达显著或极显著水平。但不同生态习性的品种,对矿质元素的需求及利用率存在明显差异,所以探索矿质元素间的平衡互作及其与品质性状间的关系,是通过平衡施肥来提高不结球白菜品质亟待解决的问题。

#### 参考文献:

[1] Tabatabai M A, Bremner J M. A simple turbidimetic method of determining total sulfur in plant materials[J]. Agron J, 1970, 62: 805–806.

[2] 鲁如坤. 土壤农化分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.

[3] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2007.

[4] 陆景陵. 植物营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.

[5] 杨力, 宋国菡, 泉维洁, 等. 氮硫养分平衡对大白菜营养品质和抗病性影响的研究[J]. 山东农业大学学报, 1999, 30(4): 417–421.

[6] 于占东. 大白菜营养品质性状遗传效应分析及 TaMV-Nib 基因克隆与转化研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2004.

[7] 夏广清, 何启伟, 于占东, 等. 不同生态型大白菜品种中挥发性化学成分分析[J]. 中国蔬菜, 2005, 5: 20–21.

[8] 曾国平, 曹寿椿. 不结球白菜主要品质性状遗传效应分析[J]. 园艺学报, 1997, 24(1): 43–47.

[9] 张增翠. 不结球白菜主要营养品质性状遗传规律研究[D]. 南京: 南京农业大学, 1997.