

# 国内外啤酒大麦品种酿造品质比较分析

保殷荣<sup>1,2</sup>, 宫雪<sup>3</sup>, 窦婷语<sup>2</sup>, 李姗姗<sup>2</sup>, 赵梦薇<sup>2</sup>, 郭爱奎<sup>2</sup>, 佟恩杰<sup>3</sup>, 孟亚雄<sup>1</sup>, 马燕玲<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>甘肃农业大学农学院/省部共建干旱生境作物学国家重点实验室/甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室, 兰州 730070;

<sup>2</sup>中国农业科学院作物科学研究所/农业农村部粮食作物基因资源评价利用重点实验室/农作物基因资源与

基因改良国家重大科学工程, 北京 100081; <sup>3</sup>中粮麦芽(大连)有限公司, 辽宁大连 116200)

**摘要:** 全球不同大麦产区的环境差异以及啤酒大麦育种方向的不同, 导致了啤酒大麦酿造品质差异。为比较国内外啤酒大麦的品质差异, 本研究对44个来自北美、欧洲、澳洲以及我国的常用啤酒大麦品种进行了酿造品质(包括麦芽品质和籽粒品质)的分析。主要研究结果表明, 在麦芽品质方面, 国内各大产区主栽品种均有可对标的外国啤酒大麦品种, 即东北产区的龙啤麦14和龙啤麦18号的麦芽品质可对标欧洲进口啤酒大麦, 南方产区的苏啤系列和西北产区的甘啤系列可对标澳洲进口啤酒大麦, 西北产区的中啤麦1号和北方产区的蒙啤3号麦芽品质与北美进口啤酒大麦为同一类型; 国外进口啤酒大麦麦芽品质性状较中国啤酒大麦主要表现为 $\beta$ -葡聚糖含量低, 浸出率高; 在国内种植的国外引进啤酒大麦较在原产区种植时, 糖化力、库值和 $\beta$ -葡聚糖含量均受到影响, 但北美产区的大部分品种较适应中国种植条件, 麦芽品质性状较原产区未出现明显变化; 麦芽品质的糖化力和浸出率指标与籽粒蛋白质含量和总淀粉含量以及支链淀粉含量显著相关, 鉴于籽粒品质和麦芽品质性状相关性以及籽粒品质性状测定的易操作性, 籽粒蛋白质含量和总淀粉含量可以作为啤酒大麦育种的初筛性状。本研究为国内不同产区啤酒大麦的培育改良提供了品种参考和改良方向, 对提高国内啤酒大麦的生产利用效率具有参考价值。

**关键词:** 品质鉴定; 麦芽品质; 籽粒品质; 啤酒大麦

## Comparative Analysis on Brewing Quality of Domestic and Foreign Malting Barley Varieties

BAO Yinrong<sup>1,2</sup>, GONG Xue<sup>3</sup>, DOU Tingyu<sup>2</sup>, LI Shanshan<sup>2</sup>, ZHAO Mengwei<sup>2</sup>,

GUO Aikui<sup>2</sup>, TONG Enjie<sup>3</sup>, MENG Yaxiong<sup>1</sup>, MA Yanling<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>College of Agronomy, Gansu Agricultural University/ Provincially and Ministerially Co-constructed State Key Laboratory of Arid

Land Crop Science/Gansu Provincial Key Laboratory of Crop Improvement and Germplasm Enhancement Institute of Crop

Sciences, Lanzhou 730070; <sup>2</sup>Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Ministry of Agriculture and Rural

Affairs Key Laboratory of Grain Crop Genetic Resources Evaluation and Utilization/National Major Scientific Project of Crop

Genetic Resources and Genetic Improvement, Beijing 100081; <sup>3</sup>COFCO Malt (Dalian) Co., Ltd., Dalian 116200, Liaoning)

**Abstract:** Variations in environmental conditions across different barley-producing regions and the selection targets for barley breeding have led to divergence of the brewing quality in different varieties. In this study, we conducted a comprehensive analysis of the brewing quality, including grain and malt quality traits, for 44 barley varieties that were bred from North America, Europe, and Australia, along with commonly grown barley varieties in China. This research has found that, the major varieties in various domestic regions have their malt quality comparable to foreign varieties differentially. For instance, the variety Longpimai 14 and Longpimai 18 from Northeast China are comparable to the imported European malting varieties. The Supi series from South

收稿日期: 2024-02-02 网络出版日期: 2024-09-19

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240202004>

第一作者研究方向为大麦种质资源鉴定评价, E-mail: AremlDeJong@outlook.com

通信作者: 马燕玲, 研究方向为大麦种质资源品质性状鉴定与评价, E-mail: mayanling@caas.cn

孟亚雄, 研究方向为生物技术育种, E-mail: yxmeng1@163.com

基金项目: 国家大麦青稞产业技术体系(CARS-05); 中国农业科学院科技创新工程

**Foundation projects:** China Agriculture Research System of Barley and Qingke (CARS-05); Agricultural Science and Technology Innovation Program of Chinese Academy of Agricultural Sciences

region and the Ganpi series from Northwest China are comparable to the imported Australian malting varieties. The variety Zhongpimai 1 and Mengpi 3 from North China are comparable to the imported North American varieties. Compared with Chinese malting barley, the foreign varieties are mainly with lower content of  $\beta$ -glucan and higher of the extract. Moreover, the imported malting barley that grown in China showed their quality characters different from those grown in the original areas, as the malt diastatic power, kolbach index and  $\beta$ -glucan content can be affected significantly by the environment. However, most varieties from North American showed better adaptability to the growing conditions in China, without significant change on the malt quality characters in comparing with those grown at their original regions. The malt quality characters, including diastatic power and extract yield, are significantly correlated with the contents of protein, starch, and amylopectin in the grain. Given the measurement of grain quality characters are easier to handle, the grain protein, starch, and amylopectin contents can serve as initial targets for malting barley breeding. This study provided reference of malting barley varieties and guidance for the future selections of malting barley breeding in different domestic regions. It has significant meaning in improving the breeding efficiency and production of domestic malting barley.

**Key words:** quality identification; malt quality; grain quality; malting barley

大麦(*Hordeum vulgare* L.)起源于新月沃土,是最早被驯化的作物之一<sup>[1]</sup>。大麦是啤酒酿造的主要原料,籽粒制作成麦芽进行发酵制成酒精饮料的历史最早可追溯到公元前3000年左右的美索不达米亚平原<sup>[2]</sup>。16世纪初,面对有限的谷物选择,为保障粮食需求,德国巴伐利亚州颁布了“啤酒纯净法”,限制主粮作物用于酿造生产,同时也使得啤酒酿造的原始方法和材料得以延续<sup>[3]</sup>。随着18世纪工业革命的到来,酿酒厂开始向大规模生产和全球扩张转变。自20世纪以来,随着酿造产业的发展,对啤酒生产的要求也越来越明确<sup>[4]</sup>。

啤酒酿造的关键步骤是制麦过程,包括浸泡、发芽、烘干和根据特定需求对麦芽进行深度烘焙<sup>[5]</sup>。这个过程不仅涵盖了初级植物代谢的变化,还包括与营养相关的代谢物的改变。麦芽品质主要包括麦芽浸出率、糖化力、库尔巴哈值(库值)、 $\alpha$ -氨基氮、 $\beta$ -葡聚糖和浊度,对酿造品质起着决定性影响<sup>[6]</sup>。其中,麦芽浸出率是指麦芽中可溶性物质相对于其重量的百分比,主要受到麦芽的溶解度和麦芽中酶的影响,反映麦芽在发芽过程中的干物质消耗,与酿酒效率紧密相关<sup>[7-8]</sup>,是啤酒产量和质量的决定因素。通常大麦籽粒淀粉含量高时,其麦芽的浸出率也相对较高<sup>[9]</sup>。库值是麦芽可溶性氮与总氮的比值,是反映麦芽蛋白质溶解度的一项重要指标,库值的升高通常也伴随着麦芽浸出率的降低<sup>[10]</sup>。糖化力是指麦芽中 $\alpha$ -淀粉酶和 $\beta$ -淀粉酶水解淀粉产生还原糖的能力<sup>[11]</sup>,糖化力越高时,淀粉被分解的越完全,产生的可利用的还原糖越多,发酵程度越

高。 $\alpha$ -氨基氮含量是指蛋白质在蛋白酶的作用下被水解成氨基酸或低分子肽的数量,其水解产物随后储存在麦芽中,该指标反映了麦芽中蛋白质是否能够被完全降解以及水解酶在反应阶段的活性水平。在酿造过程中, $\alpha$ -氨基氮是酵母细胞唯一的氮源,因此在一定程度上决定了酵母的生长、合成及其代谢产物,进而影响啤酒的口味和品质<sup>[12]</sup>。 $\beta$ -葡聚糖在酿造过程中易与蛋白质、多酚物质结合形成沉淀,使酿造酒体产生浑浊,影响到产品的泡沫稳定性<sup>[13]</sup>,一些类似于 $\beta$ -葡聚糖的多糖在低温下沉淀,导致冷浑浊<sup>[14-15]</sup>。麦汁浊度影响发酵液的澄清度,由于浑浊的麦汁富含大量脂肪酸和高分子氮,当其进入发酵阶段时,可能导致酵母的退化。此外,浑浊的麦汁还可能影响发酵液的澄清过程,从而增加啤酒的非生物稳定性和风味稳定性的风险。这些因素直接影响成品啤酒的纯净度和新鲜度<sup>[16]</sup>。大麦酿造品质除麦芽品质外,还包括籽粒品质,其中大麦籽粒蛋白质含量对啤酒的风味、泡沫和稳定性起着关键的作用。研究表明随着籽粒蛋白质含量的提高,会导致麦芽浸出率的降低<sup>[17]</sup>,从而影响大麦的酿造品质。同时大麦籽粒中淀粉的含量以及直链淀粉和支链淀粉的组成比例也会影响麦芽浸出率的高低<sup>[18]</sup>。

欧洲大麦育种在20世纪首先利用欧洲地方品种进行杂交,再通过与世界各地抗病品种及高产优质品种杂交进行性状改良,育成现代高产啤酒大麦品种<sup>[19]</sup>。澳大利亚啤酒大麦育种是以产量作为主要选择标准,谱系育种策略是该产区啤酒大麦改良

计划的主要手段<sup>[20]</sup>。北美啤酒大麦育种则是根据不同种植区域的具体特性而选择不同的育种方式。与大多数啤酒大麦产区以二棱大麦为主不同,北美啤酒大麦品种则是以六棱大麦为主,并且根据美国酿造协会(BA, brewers association)和美国啤酒大麦协会(AMBA, American malting barley association)等组织的酿造的市场建议进行育种改良,从而促使育种工作和麦芽产业相结合<sup>[21]</sup>。我国也制定了关于啤酒大麦的国家标准《GB/T 7416-2000 啤酒大麦》<sup>[22]</sup>,对于规范生产实践具有重要的指导意义,但该标准对麦芽品质的规范标准描述仍较少。同时大麦的栽培技术研究也取得了显著的进展,涵盖了不同栽培技术对产量和品质的影响。这些相关技术体系在引导啤酒大麦的生产方面发挥了重要作用<sup>[23]</sup>。

但目前由于国内大麦种植受国际进口的影响,效益低下,从而难以形成规模化种植,导致国内啤酒大麦的利用效率较低和品质不稳定。本研究旨在通过比较北美、欧洲和澳洲优质啤酒大麦和中国啤酒大麦主产区(西北产区、东北产区和苏北产区)的啤酒大麦品种的籽粒和麦芽品质差异,以及种植环境对国外引进的啤酒大麦的酿造品质的影响,以期筛选出与进口麦芽品质接近的国内育成品种,同时为对标国外优良品种进行酿造专用大麦品种改良提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本研究所用的材料是分别来自于中国、北美、澳洲和欧洲的44个啤酒大麦品种(表1),在国家作物种质库长期保存。

### 1.2 田间种植管理方法

由于国内啤酒大麦品种的种植生产具有较高的地域分布性,且为真实反映不同产区啤酒大麦品种的品质性状,25份国内啤酒大麦品种均在其各自主产区进行2022-2023年两年的种植和收获。甘啤系列、甘农大麦系列、新啤系列、中啤麦1号(共10份)为西北产区的啤酒大麦主栽品种,在甘肃武威试验点种植和收获;苏啤系列、盐麦系列和浙皮系列啤酒大麦(共9份)为苏北产区的啤酒大麦主栽品种,在江苏盐城试验点种植和收获;蒙啤系列和龙啤麦系列啤酒大麦(共6份)是东北产区的啤酒大麦主栽品种,在黑龙江哈尔滨试验点种植和收获。其余19份引进的国外啤酒大麦品种在西北产区(甘肃武威)

种植和收获。田间管理技术参照当地大田管理措施,甘肃武威全年春季施肥一次,尿素225 kg/hm<sup>2</sup>、复合磷肥225 kg/hm<sup>2</sup>,纯氮总量为103.5 kg;黑龙江哈尔滨全年秋季施肥一次,施磷酸二铵150 kg/hm<sup>2</sup>、尿素300 kg/hm<sup>2</sup>及硫酸钾52.5 kg/hm<sup>2</sup>,纯氮总量为165 kg;江苏盐城全年基肥施尿素242.5 kg/hm<sup>2</sup>,复合肥(15-15-15)450 kg/hm<sup>2</sup>,追肥225 kg/hm<sup>2</sup>尿素,纯氮总量为326.25 kg。

表1 44个国内外啤酒大麦品种信息

Table 1 Information of 44 brewing barley cultivars

编号 No.	品种 Cultivars	产地 Origin	编号 No.	品种 Cultivars	产地 Origin
1	中啤麦1号	中国	23	盐麦7号	中国
2	甘啤4号	中国	24	浙皮22号	中国
3	甘啤5号	中国	25	浙皮26号	中国
4	甘啤6号	中国	26	Conrad	北美
5	甘啤7号	中国	27	Copeland	北美
6	新啤3号	中国	28	Legacy	北美
7	新啤4号	中国	29	Merit	北美
8	新啤5号	中国	30	Prestige	北美
9	蒙啤2号	中国	31	Metcalfe	北美
10	蒙啤3号	中国	32	Newdale	北美
11	龙啤麦7号	中国	33	Harrington	北美
12	龙啤麦11号	中国	34	Bass	澳洲
13	龙啤麦14号	中国	35	Stirling	澳洲
14	龙啤麦18号	中国	36	Garidner	澳洲
15	甘农大麦010	中国	37	Scope	澳洲
16	甘农大麦030	中国	38	Hindmarsh	澳洲
17	苏啤3号	中国	39	Golden promise	欧洲
18	苏啤9号	中国	40	Scarlett	欧洲
19	苏啤10号	中国	41	Moravian	欧洲
20	苏啤12号	中国	42	Irina	欧洲
21	苏啤13号	中国	43	Maris otter	欧洲
22	盐麦3号	中国	44	Planet	欧洲

### 1.3 品质性状测定

对44个啤酒大麦品种,在2022-2023年收获后进行酿造品质测定。利用Megazyme Total Starch (100A)KIT试剂盒(金畔生物科技有限公司,上海)测定籽粒总淀粉含量;利用Vazyme Bradford Protein试剂盒(诺唯赞生物科技有限公司,南京)测定大麦籽粒中蛋白质含量;采用瑞典Perten公司的DA7200近红外品质分析仪(瑞典波通公司,瑞典)测定籽粒

的直链淀粉、支链淀粉、 $\beta$ -葡聚糖和粗纤维含量;麦芽品质性状由中粮麦芽(大连)有限公司使用欧洲酿造协定法(EBC, European brewing convention)测定。对3次重复试验测定的数据的平均值进行统计分析。

同时本研究对来自北美、澳洲及欧洲3个原产区进口的共6个代表性国外优质啤酒大麦品种,即Copeland(北美)、Metcalf(北美)、Buloke(澳洲)、La Trobe(澳洲)、Planet(欧洲)和FARO(欧洲)的麦芽品质性状进行了测定,测定数据均由中粮麦芽(大连)有限公司2018-2021年期间测定和提供。

#### 1.4 数据分析

采用Microsoft Excel 2016<sup>®</sup>对2022年和2023年的麦芽品质和籽粒品质测定数据及中粮麦芽(大连)有限公司提供的2018-2021年期间测定的进口麦芽品质测定数据进行统计处理,对各品质性状数据两年的平均值进行图表绘制;采用SPSS 22.0软件<sup>[24]</sup>和R语言<sup>[25]</sup>Hmisc程序包中的rcorr函数进行相关性分析;采用R语言Scale函数将数据统一进行数据标准化处理,用于雷达图的制作;采用R语言PerformanceAnalytics包中的chart.Correlation功能完成柱形图作图,采用R语言stats程序包的t.test()功能对数据进行差异显著性分析,采用R语言程序包ggplot2完成雷达图和聚类图绘图。

表2 进口啤酒大麦麦芽品质性状分析

Table 2 Analysis of malt quality characteristics of imported barley

产地 Origin	品种 Cultivars	浊度(EBC) Glassiness	浸出率(%) Extract	糖化力(WK) Diastatic power	$\alpha$ -氨基氮(mg/100g) $\alpha$ -Amino nitrogen	$\beta$ -葡聚糖(mg/L) $\beta$ -Glucan	库值(%) Kolbach index
北美 North American	Copeland	1.48±0.52	80.33±0.58	373.22±21.11	176.00±21.46	83.75±22.81	42.18±2.14
	Metcalf	1.49±0.53	80.47±0.50	370.13±22.73	178.25±12.86	79.50±21.81	42.60±2.07
澳洲 Australian	Buloke	1.71±0.80	81.03±1.00	321.51±26.43	169.00±20.18	91.00±40.81	40.45±2.85
	La Trobe	1.74±1.08	81.13±1.03	319.27±33.09	162.50±8.66	66.75±12.81	40.90±2.15
欧洲 European	Planet	3.43±2.00	80.13±1.03	291.07±35.19	163.50±19.07	102.75±36.81	43.90±1.31
	FARO	3.70±1.54	80.20±0.56	298.26±30.85	166.75±11.35	129.50±55.81	43.73±1.26

EBC单位是用于描述啤酒颜色的国际标准单位,用于浊度的评价,EBC浊度的数值越高,表示啤酒的浊度越高;糖化力衡量的是麦芽中淀粉酶对淀粉分解的能力,即每100g无水麦芽在30min内能将可溶性淀粉转化为1g麦芽糖的效率,这一标准被定义为一个维柯(WK)糖化力单位

EBC is an international standard unit used to describe the color of beer, and it is also used to evaluate turbidity, the higher the EBC turbidity value, the higher the turbidity of the beer; Diastatic power, measures the ability of amylase enzymes in the malt to break down starch, which is the efficiency of converting soluble starch into 1 g of maltose per 100 grams of anhydrous malt within 30 min, this standard is defined as one WK unit of diastatic power

#### 2.2 国内外啤酒大麦麦芽品质性状分析

根据麦芽品质性状特征,44个国内种植的啤酒大麦品种(包括25个国内啤酒大麦品种和19个国外引进的优质啤酒大麦品种)可以划分为4个类群

## 2 结果与分析

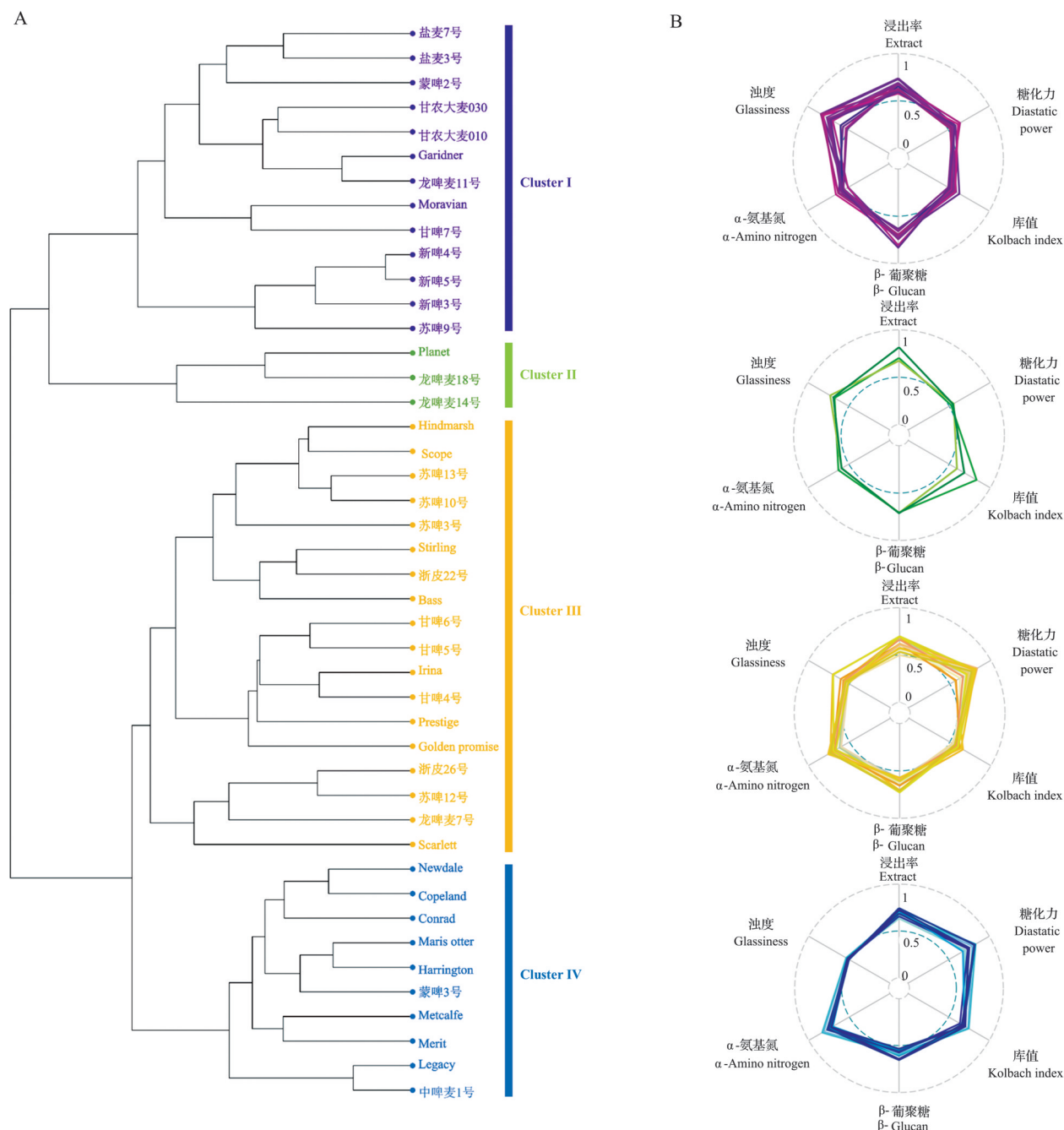
### 2.1 进口优质啤酒大麦的麦芽特征品质分析

对6个进口啤酒大麦的麦芽品质数据分析发现,北美进口啤酒大麦Copeland和Metcalf的麦芽品质特征为浊度较低(平均值为1.48~1.49 EBC),糖化力(平均值为370.13~373.22 WK)和 $\alpha$ -氨基氮含量(平均值为176.00~178.25 mg/100g)高, $\beta$ -葡聚糖含量(平均值为79.50~83.75 mg/L)较低,库值(平均值为42.18%~42.60%)高于澳洲引进啤酒大麦麦芽(平均值为40.45%~40.90%),低于欧洲引进啤酒大麦麦芽(平均值为43.73%~43.90%)。澳洲啤酒大麦品种Buloke和La Trobe的麦芽品质主要表现为浸出率高(平均值为81.03%~81.13%), $\alpha$ -氨基氮含量(平均值为162.50~169.00 mg/100g)与欧洲进口啤酒大麦麦芽(平均值为163.50~166.75mg/100g)接近,其中La Trobe的 $\beta$ -葡聚糖(平均值为66.75mg/L)含量低于其他品种。欧洲进口品种Planet和FARO的麦芽品质主要表现为具有较广的浊度范围(平均值为3.43~3.70 EBC),其糖化力(平均值为291.07~298.26 WK)和 $\alpha$ -氨基氮含量(平均值为163.50~166.75 mg/100g)低于北美和澳洲进口啤酒大麦麦芽,且具有较高的 $\beta$ -葡聚糖含量(平均值为102.75~129.50 mg/L)(表2)。

(图1)。类群I中包括盐麦系列、甘农大麦系列、新啤系列等国内育成品种以及国外引进品种Gairdner(澳洲)和Moravian(欧洲);该类群浊度、 $\beta$ -葡聚糖含量和糖化力分布范围较广且较高,大多数品种的

麦芽品质与进口啤酒大麦接近,浸出率和库值则略低于进口啤酒大麦。类群II包括龙啤麦14号、龙啤麦18号和欧洲啤酒大麦品种Planet,麦芽品质特征主要表现为具有相对较高的浊度、 $\beta$ -葡聚糖含量、库值和糖化力和浸出率,整体麦芽品质特征与欧洲进口啤酒大麦表现类似。类群III主要包括国内育成品种浙皮、苏啤、甘啤以及龙啤麦系列和大部分澳洲引进品种,麦芽品质特征主要表现为具有较高的

糖化力,其 $\alpha$ -氨基氮含量与澳洲进口啤酒大麦接近,浸出率则低于澳洲进口啤酒大麦。类群IV包括国内育成品种蒙啤3号和中啤麦1号以及大部分北美引进品种,该类群在国内种植的材料中呈现出仅次于类群II的浸出率,较高的糖化力、库值和 $\alpha$ -氨基氮含量以及较低的 $\beta$ -葡聚糖含量,麦芽品质特征与北美进口啤酒大麦类似(图1,表2,表3)。



A: 麦芽品质性状聚类分析; B: 各类群麦芽品质性状特征

A: Cluster analysis of malt quality traits; B: Characteristics of malt quality traits of various cluster

图1 中国种植区的啤酒大麦麦芽品质特征差异

Fig.1 The differences in malt quality characteristics of malting barley in Chinese growing regions

表3 44份啤酒大麦籽粒及麦芽品质性状  
Table 3 Quality traits of barley grains and malt for all 44 barley cultivars

产地 Origin	品种 Cultivars	麦芽品质 Malt quality							籽粒品质 Grain quality						
		油度(EBC) Glassiness	浸出率(%) Extract	糖化力 (WK) Diastatic power	$\alpha$ -氨基氮 (mg/100g) $\alpha$ -Amino nitrogen	$\beta$ -葡聚糖 (mg/L) $\beta$ -Glucan	库值(%) Kolbach index	蛋白质含量 (%) Protein content	总淀粉含量 (%) Starch content	粗纤维含量 (%) Fiber content	直链淀粉 含量(%) Amylose content	支链淀粉 含量(%) Amylopectin content	$\beta$ -葡聚糖 含量(%) $\beta$ -Glucan content		
中国	中啤麦1号	1.32±1.41	78.32±1.02	524.13±4.24	226.43±3.03	199.46±6.91	45.14±1.11	12.60±0.38	54.57±2.00	3.87±0.19	15.44±0.76	31.71±1.00	2.64±0.10		
China	甘啤4号	1.01±1.56	77.51±1.28	423.23±10.25	151.06±14.31	212.49±15.09	32.33±1.65	12.17±0.18	53.23±0.25	4.67±0.26	12.79±0.62	30.14±1.69	2.76±0.27		
	甘啤5号	2.14±1.97	78.11±0.32	508.85±7.42	148.95±12.28	466.07±5.61	33.72±0.45	12.77±0.50	53.57±2.38	3.83±0.18	12.74±0.57	30.81±0.28	2.89±0.11		
	甘啤6号	1.48±2.89	78.01±2.12	450.97±8.13	150.07±18.29	360.83±10.90	31.64±0.83	12.87±0.56	54.97±2.91	3.30±0.19	15.25±0.43	29.57±1.53	3.06±0.18		
	甘啤7号	4.37±3.54	77.53±0.52	385.49±12.37	105.43±15.26	679.57±54.65	29.69±1.17	12.77±0.12	52.73±1.60	4.30±0.33	9.93±0.63	31.14±0.24	3.71±0.24		
	新啤3号	5.28±4.29	75.32±0.52	300.76±12.37	128.32±6.93	373.86±8.65	27.91±2.51	11.00±0.15	55.10±1.59	3.87±0.21	12.37±0.56	31.00±1.03	2.73±0.21		
	新啤4号	1.09±2.30	76.14±0.42	440.88±8.48	192.17±6.03	343.79±4.65	42.11±3.57	10.40±0.46	55.87±0.92	4.07±0.16	11.99±0.36	32.62±0.57	3.39±0.21		
	新啤5号	2.36±3.43	76.81±0.52	323.44±15.20	131.12±16.31	457.05±9.65	29.82±1.83	10.30±0.15	55.83±0.36	3.80±0.15	14.66±0.33	30.94±0.45	1.85±0.09		
	蒙啤2号	1.14±1.62	77.58±0.32	293.49±13.08	126.34±13.30	515.19±12.65	30.54±0.54	13.80±0.65	52.57±0.90	4.00±0.24	13.89±0.56	29.18±0.2	1.72±0.05		
	蒙啤3号	0.84±1.07	77.60±2.22	387.85±10.60	192.42±13.33	339.24±14.65	39.66±1.53	12.37±0.44	52.67±1.10	4.67±0.06	17.05±0.82	29.86±0.52	2.33±0.16		
	龙啤麦7号	4.71±3.96	78.11±1.32	313.96±10.96	194.33±2.23	358.83±10.65	39.38±1.55	13.44±0.33	44.38±1.81	4.22±0.25	10.64±0.70	33.74±0.98	3.79±0.22		
	龙啤麦11号	4.07±3.54	78.54±1.72	272.32±17.32	153.27±4.13	467.08±7.65	51.76±4.16	11.41±0.22	42.71±0.89	4.02±0.17	11.36±0.72	31.35±0.94	4.61±0.13		
	龙啤麦14号	5.19±3.85	77.48±2.32	301.41±12.37	138.16±7.03	476.10±20.65	34.65±0.23	11.99±0.62	44.51±2.20	4.12±0.28	10.33±0.24	33.18±1.73	4.95±0.15		
	龙啤麦18号	5.11±4.31	80.97±0.52	321.16±9.19	172.95±2.83	420.97±6.65	43.37±3.67	12.54±0.72	45.49±0.28	3.94±0.14	10.39±0.18	35.1±0.06	4.19±0.17		
	甘农大麦010	7.26±6.68	79.43±0.62	300.49±18.73	103.65±10.32	548.26±121.65	32.33±0.94	11.53±0.52	51.54±1.40	3.88±0.22	13.15±0.40	38.39±0.56	4.78±0.20		
	甘农大麦030	7.44±6.71	79.71±0.42	333.34±0.70	121.87±14.31	478.10±11.65	37.64±1.99	11.74±0.50	51.26±1.27	3.89±0.24	14.07±0.13	37.19±0.42	4.62±0.12		
	苏啤3号	1.34±1.42	71.43±1.32	509.76±12.02	184.25±1.13	280.65±13.65	30.22±1.69	14.01±0.37	45.77±1.04	3.52±0.11	11.30±0.71	34.47±0.04	2.96±0.06		
	苏啤9号	1.84±1.97	76.03±1.12	281.39±19.09	147.77±2.93	318.73±5.65	32.31±0.82	11.33±0.56	48.56±0.67	4.01±0.32	11.82±0.59	36.74±0.61	3.88±0.24		
	苏啤10号	1.52±1.61	74.19±0.82	482.85±8.13	182.61±1.23	261.60±17.65	34.84±1.36	14.06±0.30	47.70±0.62	3.68±0.23	12.24±0.54	35.46±0.32	4.51±0.25		
	苏啤12号	1.74±1.62	75.48±1.22	368.43±3.53	195.32±8.73	295.68±8.65	35.54±1.25	12.84±0.26	47.99±0.78	3.47±0.42	12.71±0.29	35.28±0.37	4.37±0.27		
	苏啤13号	1.53±1.62	74.17±0.52	463.39±6.01	204.86±3.93	215.50±5.65	35.43±0.86	13.47±0.06	48.45±0.22	4.19±0.16	12.96±0.40	35.49±1.38	3.83±0.15		
	盐麦3号	6.81±6.06	74.13±0.62	362.22±7.07	162.44±6.53	501.16±25.65	34.41±1.21	12.46±0.41	46.88±0.97	3.22±0.76	10.61±0.37	36.27±0.57	4.04±0.10		

表3 (续)

产地 Origin	品种 Cultivars	麦芽品质 Malt quality					籽粒品质 Grain quality						
		油度(EBC) Glassiness	浸出率(%) Extract	糖化力 (WK) Diastatic power	$\alpha$ -氨基氮 (mg/100g) $\alpha$ -Amino nitrogen	$\beta$ -葡聚糖 (mg/L) $\beta$ -Glucan	库值(%) Kolbach index	蛋白质含量 (%) Protein content	总淀粉含量 (%) Starch content	粗纤维含量 (%) Fiber content	直链淀粉 含量(%) Amylose content	支链淀粉 含量(%) Amylopectin content	$\beta$ -葡聚糖 含量(%) $\beta$ -Glucan content
中国 China	盐麦7号	7.32±6.99	75.74±1.52	271.35±18.03	151.62±8.23	445.03±17.65	33.22±1.49	11.65±0.27	48.53±1.10	3.29±0.26	12.08±0.21	36.45±1.32	4.09±0.11
	浙皮22号	1.14±1.49	73.19±1.52	430.04±7.07	170.43±6.13	498.15±18.65	31.26±0.80	13.15±0.37	46.34±0.60	4.37±0.36	12.21±0.32	34.13±0.40	4.25±0.10
	浙皮26号	2.73±2.38	75.38±2.12	322.26±11.31	181.15±7.03	364.84±20.65	36.54±1.96	12.57±0.42	47.73±1.52	4.30±0.23	11.82±0.58	35.91±0.07	3.74±0.08
北美 North American	Conrad	0.84±0.80	76.92±1.32	470.69±6.36	193.43±11.31	192.44±19.65	37.91±2.09	13.73±0.10	51.87±1.90	4.03±0.11	16.98±0.06	28.59±1.06	2.39±0.18
	Copeland	0.79±0.77	78.89±0.82	416.16±6.01	183.22±4.33	148.34±16.65	41.56±2.32	11.57±0.42	55.10±0.68	3.97±0.14	14.69±0.05	29.98±0.35	3.03±0.06
	Legacy	1.32±1.33	77.71±1.42	562.34±22.98	232.76±11.32	242.56±14.65	45.55±4.08	12.97±0.57	53.60±2.17	3.77±0.15	18.47±0.36	29.08±0.20	2.09±0.12
	Merit	0.63±0.88	79.94±0.62	548.25±23.68	189.55±8.63	338.78±11.65	39.57±2.32	12.03±0.39	53.77±0.45	4.10±0.05	12.01±0.83	31.51±0.09	3.22±0.12
	Prestige	0.81±0.93	78.33±1.22	537.17±18.38	168.14±1.13	262.61±13.65	35.22±0.08	12.70±0.17	54.27±0.60	3.63±0.07	9.71±0.42	30.68±0.04	3.01±0.12
	Metcalfe	0.77±0.81	79.73±2.12	554.41±18.73	210.07±2.13	167.39±10.65	41.13±2.52	12.73±0.16	54.77±1.10	3.37±0.14	11.34±0.40	31.14±0.27	2.79±0.07
	Newdale	0.66±1.04	79.21±0.62	488.89±12.02	189.44±7.23	112.26±13.65	41.64±0.58	11.80±0.18	53.20±1.13	4.30±0.14	9.93±0.05	32.33±0.44	2.78±0.06
澳洲 Australian	Harrington	0.64±0.88	78.89±2.31	482.22±0.70	195.76±2.93	264.61±14.65	42.32±1.17	12.57±0.20	53.77±0.56	3.77±0.13	13.54±0.37	30.65±0.20	2.15±0.05
	Bass	1.57±2.23	75.58±0.92	518.31±14.49	190.35±9.03	466.07±14.65	35.27±1.32	13.23±0.08	52.20±0.46	4.50±0.12	12.15±0.56	30.61±0.33	2.94±0.17
	Stirling	1.43±1.81	72.56±1.52	502.16±1.06	194.29±5.93	479.10±25.65	32.26±0.26	15.00±0.12	50.20±0.47	5.10±0.10	16.28±0.62	28.13±0.04	1.96±0.03
	Garidner	5.91±4.58	78.09±0.32	316.44±17.67	130.86±10.34	516.19±13.65	32.43±0.91	11.33±0.10	55.07±0.19	3.93±0.08	13.63±0.11	30.49±0.03	2.65±0.02
	Scope	1.62±2.47	74.01±0.52	546.36±12.37	200.66±5.53	188.43±5.65	37.58±1.97	15.83±0.05	51.10±0.20	4.03±0.04	13.82±0.21	30.62±0.27	3.10±0.03
	Hindmarsh	0.93±1.14	75.43±0.62	564.29±20.50	194.32±1.53	220.51±11.65	33.88±0.75	13.10±0.11	52.07±0.10	4.57±0.06	17.36±0.18	27.27±0.07	4.57±0.30
欧洲 European	Golden promise	0.83±1.23	75.08±0.92	504.31±7.77	143.17±4.13	274.63±12.65	31.37±1.99	13.80±0.09	52.80±0.20	4.47±0.24	12.35±0.30	31.05±0.08	3.16±0.04
	Scarlett	4.61±3.43	78.27±0.62	441.33±14.14	179.26±4.83	515.19±12.65	35.44±0.51	12.57±0.23	54.00±0.59	3.97±0.06	13.88±0.11	30.72±0.29	2.38±0.04
	Moravian	4.87±3.71	74.34±1.82	325.26±10.96	129.34±1.23	734.69±71.65	28.62±1.55	13.90±0.07	52.10±0.20	4.43±0.04	12.77±0.07	30.48±0.06	3.61±0.02
	Irina	1.94±2.75	77.13±1.42	400.85±14.14	172.40±7.63	258.60±20.65	33.41±1.21	15.30±0.12	51.40±1.29	4.50±0.03	9.31±0.50	32.29±0.04	4.60±0.15
	Maris otter	1.07±1.21	77.89±2.43	476.11±18.73	203.99±7.73	359.83±15.65	42.63±3.76	13.80±0.28	52.40±0.50	3.97±0.10	17.96±0.38	30.45±0.24	1.81±0.06
	Planet	4.36±4.13	82.04±0.52	293.37±15.20	138.64±5.43	483.11±22.65	41.09±0.74	11.34±0.12	50.22±0.60	3.96±0.19	12.28±0.71	37.94±0.20	3.62±0.14

### 2.3 国内外种植环境差异对啤酒大麦的麦芽品质影响分析

国内种植的引进啤酒大麦与进口啤酒大麦麦芽品质相比,主要表现为β-葡聚糖含量和糖化力升高,浸出率、α-氨基氮和库值降低,其中β-葡聚糖含量指标值受环境影响最大。国内种植的北美啤酒大麦的糖化力和α-氨基氮含量高于北美进口啤酒大麦,其他麦芽品质性状受环境影响较小。国内种植的澳洲啤酒大麦与澳洲进口啤酒大麦相比主要表现为引进品种的浸出率降低,糖化力和库值增加。国内种植的欧洲啤酒大麦与欧洲进口的啤酒大麦相比主要表现为β-葡聚糖含量明显升高,糖化力增加,浸出率和库值降低(表2,表3)。

### 2.4 国内外啤酒大麦籽粒品质性状分析

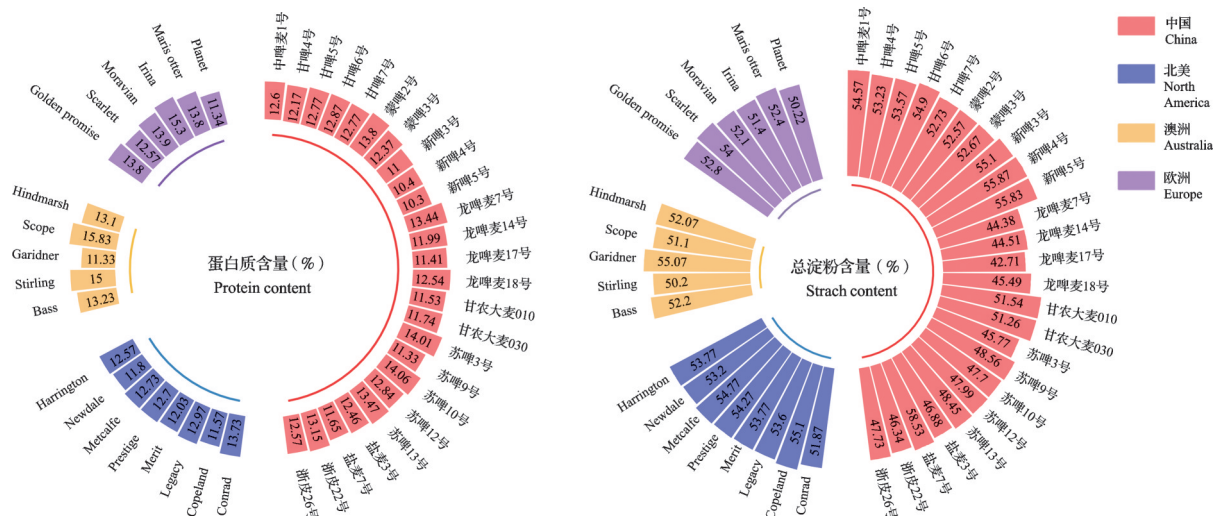
对据麦芽品质划分的各类群(图1)啤酒大麦的籽粒品质分析发现(表3),类群I中啤酒大麦品种的籽粒蛋白质含量较其他类群低,分布范围为10.30%~13.90%,总淀粉含量分布范围为46.88%~55.87%,直链淀粉和支链淀粉含量分布范围分别为9.93%~14.66%和29.18%~38.39%,粗纤维含量分布范围在3.22%~4.43%之间,籽粒β-葡聚糖含量为1.72%~4.78%。类群II中啤酒大麦品种的籽粒蛋白质含量分布范围为11.34%~12.54%、总淀粉含量分布范围为44.51%~50.22%、直链淀粉含量分布范围为11.34%~12.54%、支链淀粉含量分布范围为33.18%~37.94%、粗纤维含量分布范围为3.94%~4.12%、籽粒β-葡聚糖含量分布范围为3.62%~4.95%。类群III中啤酒大麦品种籽粒蛋白质含量分布范围为12.17%~15.83%,总淀粉含量分布范围为44.38%~54.97%,直链淀粉和支链淀粉含量分别为

9.31%~17.36%和27.27%~35.91%,粗纤维含量分布范围为3.30%~5.10%,籽粒β-葡聚糖含量分布范围为1.96%~4.57%。类群IV中啤酒大麦品种蛋白质含量分布范围为11.57%~13.80%,总淀粉含量达到51.87%~55.10%,直链淀粉和支链淀粉含量分别为9.93%~18.47%和28.59%~32.33%,粗纤维含量为3.37%~4.67%,相较于其他类群,该类群品种籽粒β-葡聚糖含量较低,分布范围为1.81%~3.22%。

对不同产区啤酒大麦籽粒品质比较分析表明,国内育成品种的籽粒平均蛋白质含量与北美、欧洲和澳洲引进品种均无显著差异;国内育成品种的总淀粉含量整体较低,与北美和欧洲引进品种差异显著,其中苏啤系列、盐麦系列、甘农大麦系列以及龙啤麦系列的总淀粉含量与北美引进品种差异最为显著;粗纤维含量在欧洲与北美引进品种之间存在显著差异;在北美、欧洲和澳洲引进品种中均存在少数直链淀粉含量较高的品种,而国内育成品种直链淀粉含量整体较低;国内育成品种整体支链淀粉含量最高,极显著高于北美和澳洲引进品种;北美引进品种的籽粒β-葡聚糖含量最低,其次是澳洲和欧洲引进品种,而国内育成品种的籽粒β-葡聚糖含量整体较高,与北美引进品种差异显著(表3,图2,图3)。

### 2.5 大麦籽粒与麦芽品质的相关性分析

籽粒品质和麦芽品质性状的相关性分析显示(图4),蛋白质含量与糖化力和α-氨基氮均呈显著正相关,而与浸出率呈极显著负相关;总淀粉含量与浸出率呈极显著正相关,与糖化力呈显著负相关;粗纤维含量与浸出率呈极显著负相关;直链淀粉含量与α-氨基氮含量和库值均呈显著正相关;支链淀粉含量与浸出率呈显著正相关;而β-葡聚糖含



(图2)



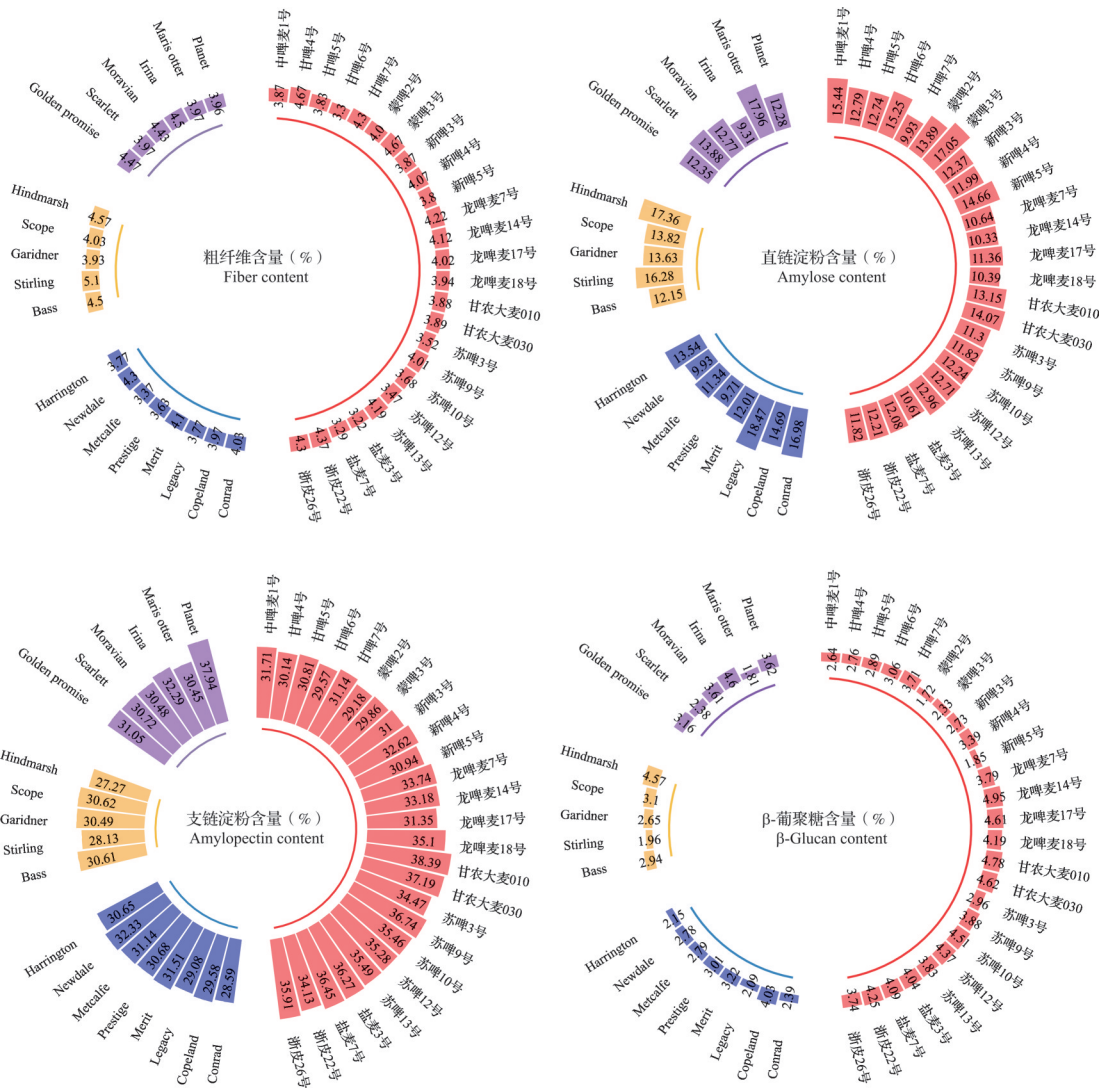
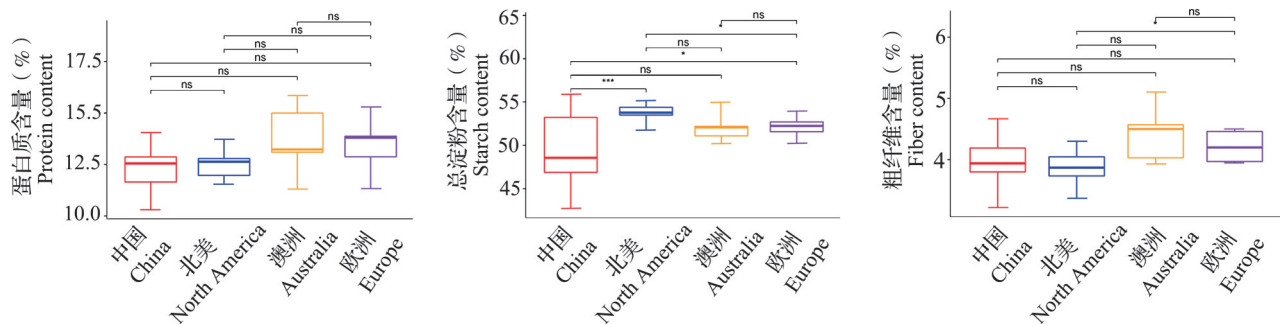


图2 44个啤酒大麦品种的籽粒品质分析

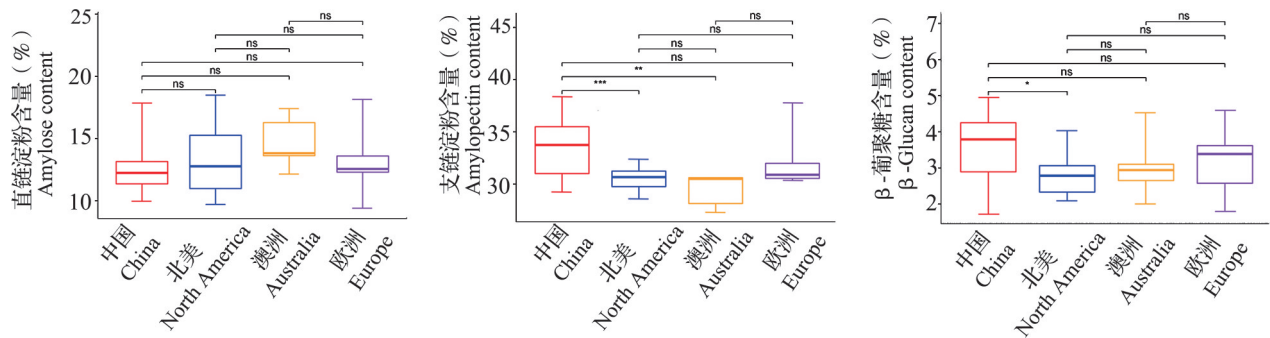
Fig.2 Grain quality characteristics of 44 different malting barley cultivars

量与麦芽品质性状未呈现显著的相关性,麦芽品质中的浊度与各籽粒品质性状也未发现显著的相关性。综合以上结果可以得出,大麦籽粒中蛋白质含量越高,浸出率会越低,而麦芽的糖化力和 $\alpha$ -氨基氮则会越高。同时,当直链淀粉含量较高时, $\alpha$ -氨基氮的含量也会增加。大麦籽粒中总淀粉和支链淀

粉的含量越高,浸出率会越高。鉴于籽粒的品质性状较麦芽的品质性状易于测定,可将籽粒的蛋白质含量和总淀粉含量作为啤酒大麦品种选育的初步评估指标,从而有效促进啤酒大麦品种选育的效率,并为制备特种麦芽选择合适的大麦品种提供参考。



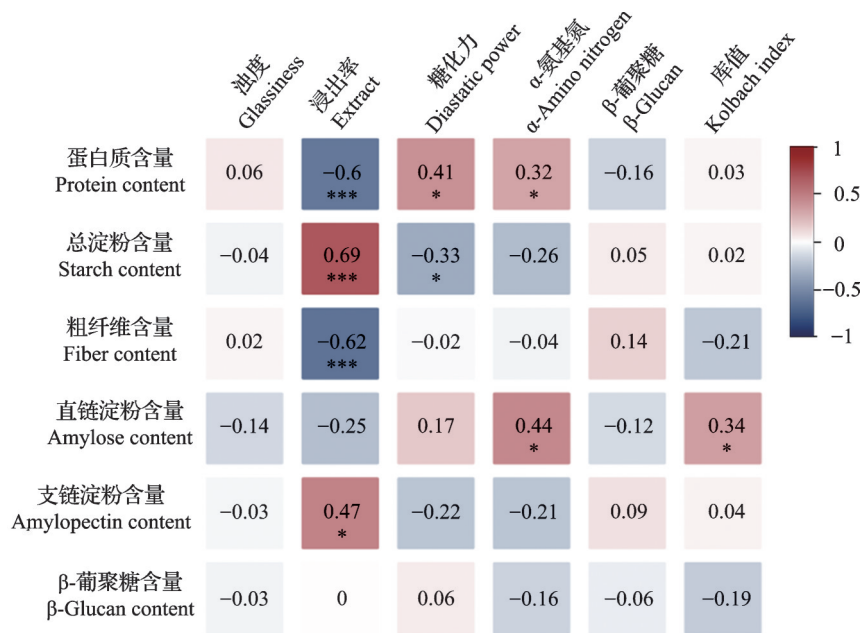
(图3)



\*, \*\*, \*\*\* 分别表示在  $P \leq 0.05$ ,  $P \leq 0.01$ ,  $P \leq 0.001$  水平上样本间差异显著, ns 表示样本间差异不显著; 下同  
 \*, \*\*, \*\*\* indicate significant difference between samples at  $P \leq 0.05$ ,  $P \leq 0.01$ ,  $P \leq 0.001$ , respectively, and ns indicates that there is no significant difference between samples; The same as below

图3 4个不同产区大麦籽粒品质性状差异显著性分析

Fig.3 Significance analysis of differences in grain quality characteristics among the 4 different areas



横向和纵向分别是大麦麦芽品质性状和籽粒品质性状

The traits listed horizontally is the malt quality, while those listed vertically is the barley grain quality

图4 麦芽与籽粒品质性状的相关性分析

Fig.4 Correlation analysis between malt and grain quality traits

### 3 讨论

大麦是重要的酿造谷物,大麦麦芽是啤酒和威士忌酿造的主要原料,其品质受到大麦品种和籽粒质量的影响而存在显著差异<sup>[26]</sup>。由于国内麦芽企业和酿造企业长期习惯性使用进口大麦,导致国内种植大麦的效益低下。而我国啤酒大麦主产区与麦芽制备和酿造生产企业在地理位置上的长距离分布也使国内啤酒大麦的利用效率变低,规模化种植制度难以实现,致使国产啤酒大麦品质无法保证,加剧了对进口原料的依赖。改变这一状

况的主要途径是参考国外优良啤酒大麦品种,加速国内啤酒大麦品种的改良,形成规模化的种植体系,使国内啤酒大麦的品质得到提升,效益和品质得到保证。本研究旨在探究国内外啤酒大麦品种之间的品质特征差异,并为国内啤酒大麦品种改良提供参考。

前人研究指出,糖化力、 $\alpha$ -氨基氮含量和浸出率这3个麦芽品质指标值在一定范围内表现越高,麦芽品质相对越优质<sup>[27]</sup>。本研究结果发现,相比国外啤酒大麦品种,国内育成的啤酒大麦品种的糖化力、 $\alpha$ -氨基氮含量和库值整体较低,而 $\beta$ -葡聚糖含量

较高,这与之前的分析结果相吻合<sup>[28]</sup>。其中蒙啤3号、中啤麦1号以及北美引进品种的麦芽品质除浸出率略低外,其余指标均可对标北美进口啤酒大麦,这与之前蒙啤3号麦芽品质分析结果一致<sup>[29]</sup>。龙啤麦14号和龙啤麦18号与欧洲引进品种Planet相似, $\beta$ -葡聚糖含量较高,其麦芽品质性状与欧洲进口啤酒大麦较为一致。苏啤、浙皮系列以及甘啤系列的啤酒大麦麦芽品质与澳洲引进啤酒大麦品种接近,除 $\beta$ -葡聚糖含量稍高和浸出率稍低外,其余麦芽品质参数均与澳洲进口啤酒大麦相似。

种植环境、育种选择、栽培管理和品质标准需求的差异是导致不同产区的大麦品种呈现不同的麦芽品质特征的主要因素<sup>[30]</sup>。本研究比较分析了国内种植的引进啤酒大麦与其原始产区种植的进口啤酒大麦的麦芽品质,发现北美产区的引进品种与其原始产区进口品种的麦芽品质相比没有显著差异,而欧洲引进品种受环境影响较大,与欧洲进口啤酒大麦相比,引进品种的糖化力和 $\beta$ -葡聚糖含量明显升高,库值下降。在对各品种进行籽粒品质性状鉴定时,发现本次试验样品的籽粒蛋白质含量略高于以往测定的啤酒大麦。在麦芽品质鉴定时,糖化力、 $\alpha$ -氨基氮等性状也呈现偏高的现象。综合前人的研究发现<sup>[31]</sup>,适当增加氮肥的施用可以增加大麦产量、提高大麦籽粒的蛋白质含量,啤酒大麦在实际生产中,氮肥总量应控制在225 kg/hm<sup>2</sup>左右,可保证有效提高产量的同时也能满足籽粒品质符合酿造需求。结合试验材料的田间管理措施,初步推测本研究中高施用氮肥可能导致籽粒蛋白质含量及其相关的品质指标测定值的升高,从而影响麦芽品质相关指标,因此选择适宜产地的耕作制度和科学的综合田间管理措施是保证啤酒大麦品质的重要手段。

前人研究结果表明麦芽糖化力与籽粒蛋白质含量呈正相关,蛋白质含量中淀粉酶的活性是决定糖化力的主要因素,而浸出率与籽粒蛋白质含量呈负相关<sup>[32]</sup>。本研究对籽粒品质和麦芽品质进行相关性分析表明,籽粒蛋白质含量和总淀粉含量与麦芽的糖化力、 $\alpha$ -氨基氮含量和浸出率之间也存在显著相关性,可作为啤酒大麦育种过程中的初步鉴定标准。因此,适当提高国内育成品种的籽粒蛋白质含量和直链淀粉含量可以提升糖化力和 $\alpha$ -氨基氮含量,而提高总淀粉含量和支链淀粉含量可以改善浸出率指标。

## 4 结论

本研究通过对国内外啤酒大麦品种的酿造品质综合分析发现,国内各大主产区的啤酒大麦育成品种中均有可与国外主要啤酒大麦麦芽品质对标的品种。同时也发现籽粒品质性状可作为高效和快速筛选优质啤酒大麦品种的重要依据。本研究为我国不同产区优良啤酒大麦品种的培育提供了参考。

**致谢:**本研究所使用的试验材料包括国家作物种质库保存的国内育成品种和国外引进品种以及各育种家团队提供享有相关知识产权的品种,国外进口的啤酒大麦麦芽品质性状数据均由中粮麦芽(大连)有限公司提供,在此一并表示感谢。

## 参考文献

- [1] Badr A, Müller K, Schäfer-Pregl R, El Rabey H, Effgen S, Ibrahim H H, Pozzi C, Rohde W, Salamini F. On the origin and domestication history of barley (*Hordeum vulgare*). *Molecular Biology and Evolution*, 2000, 17(4):499-510
- [2] Hornsey I S. A history of beer and brewing. London: Royal Society of Chemistry, 2003: 723-725
- [3] 周美华. 论德国啤酒文化与德国国民性格的关系. 产业与科技论坛, 2019, 18(18):101-102  
Zhou M H. On the relationship between German beer culture and German national character. *Industrial & Science Tribune*, 2019, 18(18): 101-102
- [4] Bostwick D. The brewer's tale: A history of the world according to beer. New York: W. W. Norton & Company, 2014, 79(1): 199-200
- [5] Briggs D, Boulton C, Brookes P, Stevens R. Brewing science: A multidisciplinary approach. Woodhead Publishing, 2012: 98-100
- [6] Frank T, Scholz B, Peter S, Engel K. Metabolite profiling of barley: Influence of the malting process. *Food Chemistry*, 2011, 124(3): 948-957
- [7] Arends A, Fox G, Henry R, Marschke R, Symons M. Genetic and environmental variation in the diastatic power of *Australia barley*. *Journal of Cereal Science*, 1995, 21(1): 63-70
- [8] Rasmusson D C, Glass R L. Effectiveness of early generation selection for four quality characters in barley. *Crop Science*, 1965, 5: 389-391
- [9] 李杰. 大麦籽粒蛋白质含量和直链淀粉含量的遗传研究. 扬州: 扬州大学, 2009  
Li J. Genetic study of protein content and amylose content of barley grain. Yangzhou: Yangzhou University, 2009
- [10] Morgan A, Gill A, Smith D. Some barley grain and green malt properties and their influence on malt hot-water extract: II.

- Protein, proteinase and moisture. Journal of The Institute of Brewing, 1983 (89): 292-298
- [11] Osman I H, Laporte G. Metaheuristics: A bibliography. Annals of Operations Research, 1996, 63(5): 511-623
- [12] 王丹红, 苏健.  $\alpha$ -氨基氮对啤酒风味的影响. 广州食品工业科技, 1995(3): 26-27  
Wang D H, Su J. Effect of  $\alpha$ -amino nitrogen on beer flavor. Modern Food Science and Technology, 1995(3): 26-27
- [13] Georg K, Caierão E, Minella E, Barbosa N, Cavalli S. The (1-3, 1-4)- $\beta$ -Glucanases in malting barley: Enzyme survival and genetic and environmental effects. Journal of the Institute of Brewing, 2004, 110(4): 303-308
- [14] Fincher G B. Morphology and chemical composition of barley endosperm cell walls. Journal of the Institute of Brewing, 1975, 81 (2): 116-122
- [15] Woodward J R, Phillips D R, Fincher G B. Water-soluble (1-3), (1-4) -  $\beta$ -d-glucans from barley (*Hordeum vulgare*) endosperm. I. Physicochemical properties. Carbohydrate Polymers, 1983, 3 (2):143-156
- [16] 吴文林. 降低热麦汁的浊度. 中外酒业·啤酒科技, 2018(3): 63-64  
Wu W L. Reduces the turbidity of the hot wort. Global Alcnfo, 2018(3):63-64
- [17] Gupta M, Abu-Ghannam N, Gallagher E. Barley for brewing: Characteristic changes during malting, brewing and applications of its by-products. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2010, 9(3):318-328
- [18] Shu X, Rasmussen S K. Quantification of amylose, amylopectin, and  $\beta$ -glucan in search for genes controlling the three major quality traits in barley by genome-wide association studies. Frontiers in Plant Science, 2014, 15 (5): 197
- [19] Takao K, Andris K. Advances in barley sciences. Berlin: Springer, 2012: 389-390
- [20] Nils S, Peter L, Gary J, Muehlbauer. The barley genome. Berlin: Springer, 2018: 1-4
- [21] Wolfgang Friedt, Richard D. Horsley. Barley: Breeding history, progress, objectives, and technology. New York: Wiley, 2010: 171-172
- [22] 中国食品工业发酵研究所. GB/T 7416-2000 啤酒大麦. 北京: 国家标准化管理委员会, 2000  
China National Research Institute of Food and Fermentation Industries. GB/T 7416-2000 malt barley. Beijing: Standardization Administration, 2000
- [23] 卞同洋, 卞文斌, 顾双平, 吴昌庚, 卢珊. 加强啤酒大麦新品种和新技术的推广. 大麦与谷类科学, 2007(2): 56-57  
Bian T Y, Bian W B, Gu S P, Wu C G, Lu S. Promoting new varieties and technologies for barley used in beer production. Barley and Cereal Sciences, 2007(2): 56-57
- [24] 马艳明, 冯智宇, 王威, 张胜军, 郭营, 倪中福, 刘杰. 新疆冬小麦品种农艺及产量性状遗传多样性分析. 作物学报, 2020, 46 (12): 1997-2007  
Ma Y M, Feng Z Y, Wang W, Zhang S J, Guo Y, Ni Z F, Liu J. Analysis of genetic diversity of agronomic and yield traits of winter wheat varieties in Xinjiang. Acta Agronomica Sinica, 2020, 46 (12): 1997-2007
- [25] 白雪花, 王延周, 魏忆萍, 马永红, 饶晶, 高馨悦, 扶雅芬, 王满生, 刘头明, 朱四元. 298份苧麻种质资源纤维产量性状综合评价. 植物遗传资源学报, 2022, 23 (1): 106-122  
Bai X H, Wang Y Z, Wei Y P, Ma Y H, Rao J, Gao X Y, Fu Y F, Wang M S, Liu T M, Zhu S Y. Comprehensive evaluation of fiber yield traits of 298 ramie germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23 (1): 106-122
- [26] Fox G P, Panozzo J F, Li C D, Lance R C M, Inkerman P A, Henry R J. Molecular basis of barley quality. Australian Journal of Agricultural Research, 2003, 54 (11-12):1081-1101
- [27] 高健, 朱娟, 吕超, 郭宝健, 许如根. 施氮水平对啤酒大麦麦芽品质的影响. 麦类作物学报, 2020, 40(10): 1239-1246  
Gao J, Zhu J, Lyu C, Guo B J, Xu R G. Effect of nitrogen application level on malt quality of malt in malting barley. Journal of Triticeae Crops, 2020, 40 (10):1239-1246
- [28] 包奇军, 潘永东, 张华瑜, 柳小宁, 张东佳. 甘肃与欧洲、北美啤酒大麦品种农艺及品质性状比较分析. 中国农业科技导报, 2022, 24(3): 57-66  
Bao Q J, Pan Y D, Zhang H Y, Liu X N, Zhang D J. Analysis of agronomic and quality characters of beer barley from Gansu and Europe, North America. Journal of Agricultural Science and Technology, 2022, 24(3): 57-66
- [29] 包海柱, 张凤英, 刘志萍. 大麦新品种蒙啤麦3号的选育及栽培技术. 大麦与谷类科学, 2012(3): 61-62  
Bao H Z, Zhang F Y, Liu Z P. The breeding and cultivation techniques of the new barley variety "Meng pi 3". Barley and Cereal Sciences, 2012(3): 61-62
- [30] 何立明, 李培玲, 俞天胜, 帕提古丽, 纳斯如拉·克热木, 任玉梅. 新啤5号选育及栽培要点. 农村科技, 2010 (10): 13  
He L M, Li P L, Yu T S, Patigul, Nasrullah K, Ren Y M. The breeding and cultivation essentials of new beer barley variety "Xin pi 5". Rural Science & Technology, 2010(10): 13
- [31] 赵云, 孔建平, 李鹏兵, 俞天胜, 方伏荣, 向莉. 氮肥用量对啤酒大麦相关农艺性状及品质的影响. 新疆农业科学, 2020, 57(1): 43-53  
Zhao Y, Kong J P, Li P B, Yu T S, Fang F R, Xiang L. Effects of nitrogen application rate on agronomic traits and quality of beer barley. Xinjiang Agricultural Sciences, 2020, 57(1): 43-53
- [32] 王礼焦, 徐大勇. 啤酒大麦品种资源酿造品质特性鉴定结果及评价. 大麦与谷物科学, 1999 (3): 14-18  
Wang L J, Xu D Y. Identification results and evaluation of brewing quality characteristics of malting barley variety resources. Barley and Cereal Sciences, 1999 (3): 14-18