

# 旱胁迫对啤酒大麦产量及酿造品质的影响

包奇军, 潘永东, 张华瑜, 柳小宁, 徐银萍, 火克仓, 陈文庆

(甘肃省农业科学院经济作物与啤酒原料研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 在武威黄羊镇啤酒大麦试验基地进行了干旱胁迫对甘啤 6 号生育期、农艺性状、籽粒产量、原麦品质、酿造品质的影响试验研究。结果表明: 干旱胁迫下甘啤 6 号各生育期均提前, 成活率降低, 分蘖减少, 株高、穗长、单株穗数、单株粒数、单株粒重、单穗粒重、穗粒数均降低; 干旱胁迫使甘啤 6 号成穗数、穗粒数、千粒重均降低, 导致产量降低, 其中对成穗数影响最大, 其次为穗粒数, 对千粒重影响最小; 干旱胁迫使大麦蛋白质含量升高, 千粒重、淀粉含量和筛选率均降低, 千粒重降幅尤其明显; 干旱胁迫使麦芽糖化时间、糖化力、粘度、 $\beta$ -葡聚糖、微粉浸出率、粗细粉差降低, 粗粉浸出率、 $\alpha$ -氨基氮、可溶性氮、蛋白质、库值升高。

**关键词:** 啤酒大麦; 干旱胁迫; 性状; 产量; 品质

**中图分类号:** S332.1 **文献标志码:** A

## Effects of drought stress on the yield and quality of malting barley

BAO Qi-jun, PAN Yong-dong, ZHANG Hua-yu, LIU Xiao-ning,

XU Yin-ping, HUO Ke-cang, CHEN Wen-qing

(Institute of Economic Crops and Beer Materials, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** Influences of drought stress on growth period, agronomic characteristics, grain yield, quality and malt quality of barley variety Ganpi 6 were systematically investigated in this research. The results showed that under drought stress, all growth periods of Ganpi 6 were advanced, survival rate was reduced, tiller number was decreased, and plant height, ear length, panicle number per plant, grains per plant, seed weight per plant, grain weight per panicle, and seeds per ear were decreased. The yield of Ganpi 6 was decreased due to the drought stress that caused reduction of ear number, grains per spike and 1000-grain weight. In addition, ear number was affected the most, followed by k grains per spike, and the 1000-grain weight was least impacted. Drought stress increased the protein content, and decreased 1000 grain weight, starch content and the screening rate. However, the decreasing level of 1000 grain weight was higher than that of screening rate and starch content, and the decreasing level of starch content was the minimal. Also, drought stress decreased malt saccharifying time, diastatic power, viscosities,  $\beta$ -glucanase, fine powder extract and the thickness difference of powder, whereas increased coarse powder extract,  $\alpha$ -amino nitrogen soluble nitrogen, protein, and kolbach index.

**Keywords:** malting barley; drought stress; trait; yield; quality

世界上有近 1/3 的地区属于干旱和半干旱地区, 全球气候观测和预测表明, 未来全球发生干旱的频次将增加<sup>[1-2]</sup>。在我国水资源不足及其分布不均成为限制我国农业发展的主要因素<sup>[3]</sup>。随着社会发展, 水资源短缺日益剧烈, 成为农业发展的限制因子之一。国内外对作物抗干旱胁迫进行了大量研究, 主要集中在以下四方面<sup>[4-12]</sup>, 一是作物光合作用, 如气孔、光合、呼吸等; 二是作物形态, 如株高、生物

量干重和籽粒干重等; 三是生理生化, 如 NR、SOD、POD、CAT、MDA、脯氨酸、甜菜碱等; 四是分子基因工程, 如相关转录因子、NCED 等, 特异表达一些基因 (Seki, Matos) 和合成一类蛋白 (Riccardi, Salekdeh) 等。其中对大麦抗旱性主要集中在相关的生理、生化等方面, 对其形态及产量构成因子等农艺性状研究较少, 对酿造品质方面研究更少<sup>[13-17]</sup>, 有关干旱胁迫对啤酒大麦生物学性状、产量、原麦品质、酿造

收稿日期: 2015-06-19

基金项目: 农业部国家产业技术体系“国家大麦青稞产业体系西北区育种岗位科学家”(CARS-05); 甘肃省农科院农业科技创新专项: 啤酒大麦耐盐碱种质资源筛选(2012GAAS15-3)

作者简介: 包奇军(1978—), 男, 甘肃武山人, 副研究员, 硕士, 主要从事啤酒大麦遗传育种及栽培技术研究。

通信作者: 潘永东, 研究员, 主要从事啤酒大麦遗传育种及栽培技术研究。E-mail: panyongdong1010@163.com。

品质的研究尚未见详细报道。

本研究通过在武威地区生育期不浇水的情况下,系统阐述干旱胁迫对啤酒大麦主要生育期、农艺性状、籽粒产量、原麦品质、酿造品质性状的影响,旨在阐明啤酒大麦产量、农艺性状和原麦品质、酿造品质性状在旱胁迫下的变化特征,为抗旱节水啤酒大麦新品种选育提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验条件

2013—2014 年在武威黄羊镇啤酒大麦试验基地进行,黄羊镇代表河西东部平川灌区,海拔 1 766 m,年日照时数 2 360 ~ 2 920 h,年平均气温 6.0℃ ~ 7.0℃,年降水量 200 ~ 260 mm,无霜期 135 ~ 150 d。本年度生育期从 4 月开始到 7 月中下旬结束,大约 100 天左右,生育期月平均气温 17.6℃ 较往年高 2.2℃,降雨量为 54.8 mm 较往年少 37.6 mm,属于干旱的年份(图 1)。土壤为灌漠土,耕层(0 ~ 20 cm)有机质 1.71%,全氮 1.00 g·kg<sup>-1</sup>,全磷 0.87 g·kg<sup>-1</sup>,全钾 38.5 g·kg<sup>-1</sup>,速效氮 70.3 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 35.4 mg·kg<sup>-1</sup>,pH 8.30,前茬作物大麦,地力均匀,属中等肥力,水浇地。

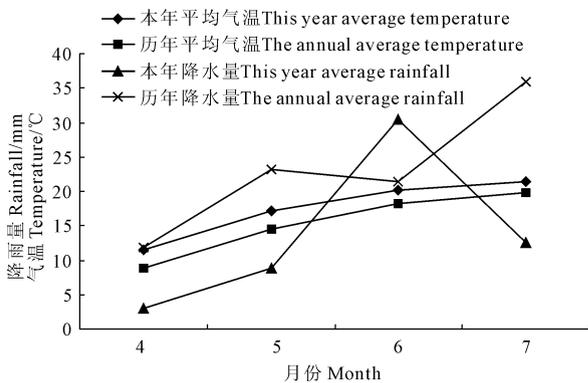


图 1 生育期降雨量、气温

Fig.1 Rainfall and temperature during the growth period

### 1.2 供试材料

甘啤 6 号,优质高产啤酒大麦品种,由甘肃省农

科院经济作物与啤酒原料研究所提供。

### 1.3 试验设计

试验设 2 个处理,抗旱 A(全生育期不浇水),对照 B(按当地生产正常浇水,5 月 8 日第一水、6 月 15 日第二水),处理间加 10 m 保护行,保护行中间起垄(垄宽 0.5 m,垄高 0.25 m)以便浇水。小区长 5.0 m,宽 2.0 m,行距 0.25 m,区距 0.25 m,走道 0.5 m,8 行区,面积 10.0 m<sup>2</sup>,播种量按 375 万粒·hm<sup>-2</sup>计算,每行播种 512 粒,种植 3 次,于 3 月下旬手锄开沟撒播。肥料磷酸二铵和尿素纯施量 165 kg·hm<sup>-2</sup>(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 1:1)。田间管理同当地大田。

### 1.4 测试指标与方法

收获时按实际收获面积计算产量,并且在每一个小区随机取样 20 株进行考种,测定株高、穗长、单株穗数、单株粒数、单株粒重、单穗粒重、穗粒数以及茎、叶、叶鞘等干重。脱粒后取样种子进行籽粒品质检测分析。籽粒蛋白质采用瑞典 1241 Grain analyzer (FOSS TECATOR)近红外仪测定,千粒重、筛选率用分级筛(SORTIMAT PFEUFFER)按照国标 GB T 7416 - 2008 方法测定。麦芽品质由甘肃省农科院西北啤酒大麦及麦芽品质检测实验室检测分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 对啤酒大麦农艺性状的影响

从表 1 看出,干旱胁迫明显抑制啤酒大麦农艺性状生长发育。干旱胁迫生育期 93 天较对照 101 天早成熟 8 天;株高为 47.7 cm 较对照 80.3 cm 降低 32.6 cm,降幅达 40.6%;穗长为 6.6 cm 较对照 9.0 cm 降低 2.4 cm,降幅为 26.7%;单株穗数为 1.7 个较对照 2.9 个降低 1.2 个,降幅达 41.4%;单株粒数为 29.1 粒较对照 70.9 粒降低 41.8 粒,降幅达 59.0%;单株粒重为 1.2 g 较对照 3.4 g 降 2.2 g,降幅达 64.7%;单穗粒重为 0.7 g 较对照 1.2 g 降低 0.5 g,降幅达 41.7%;穗粒数为 17.1 粒较对照 24.4 粒降低 7.3 粒,降幅达 29.9%。

表 1 对啤酒大麦农艺性状的影响

Table 1 Influences of drought stress on malting barley agronomic characteristics

处理 Treatment	生育期 Growth period /d	株高 Plant height /cm	穗长 Ear length /cm	单株穗数 Panicle number per plant	单株粒数 Grains per plant	单株粒重 Seed weight per plant/g	单穗粒重 Grain weight per panicle/g	穗粒数 Seeds per ear
A	93	47.7	6.6	1.7	29.1	1.2	0.7	17.1
B(CK)	101	80.3	9.0	2.9	70.9	3.4	1.2	24.4
较对照降低(绝对值) Lower than control	8	-32.6	-2.4	-1.2	-41.8	-2.2	-0.5	-7.3
较对照(相对值%) Compared with control	7.9	-40.6	-26.7	-41.4	-59.0	-64.7	-41.7	-29.9

从整体看,干旱胁迫对大麦单株各性状的影响幅度顺序为单株粒重最显著为 64.7%、其次为单株粒数为 59%、单穗粒重为 41.7%、单株穗数为 41.4%、株高为 40.6%、穗粒数为 29.9%、穗长为 26.7%、生育期为 7.9%。这些性状与拔节后干旱胁迫使大麦生育受阻有关。

2.1.1 对啤酒大麦生育进程的影响 从表 2 看出,

3月17日播种,4月6日出苗,5月12日拔节,在拔节前,干旱胁迫和对照各生育期没有变化。5月8日浇第一水后,干旱胁迫各生育期较对照发生明显变化,随着干旱胁迫加剧孕穗期、抽穗期、成熟期均提前,其中孕穗期较对照提前4天,抽穗期提前5天,成熟期提前8天,说明干旱胁迫使大麦各生育期提前,加速大麦衰老成熟。

表 2 干旱胁迫对啤酒大麦生育期的影响

Table 2 Influences of drought stress on the growth period of malting barley

处理 Treatment	播种期 Sowing (M - d)	出苗期 Seeding stage (M - d)	拔节期 Jointing (M - d)	孕穗期 Booting (M - d)	抽穗期 Heading (M - d)	成熟期 Maturity (M - d)
A	03 - 17	04 - 06	05 - 12	05 - 24	05 - 29	07 - 08
B(CK)	03 - 17	04 - 06	05 - 12	05 - 28	06 - 04	07 - 16

2.1.2 对啤酒大麦干物质积累运转的影响 大麦株高是由穗及各茎节组成,从图 2 看出,干旱胁迫明显抑制大麦穗及各茎节生长发育,这与拔节后干旱

胁迫使生育受阻有关。其下降幅第 5 茎节 > 第 4 茎节 > 穗下茎节 > 穗 > 第 3 茎节 > 第 1 茎节 > 第 2 茎节。

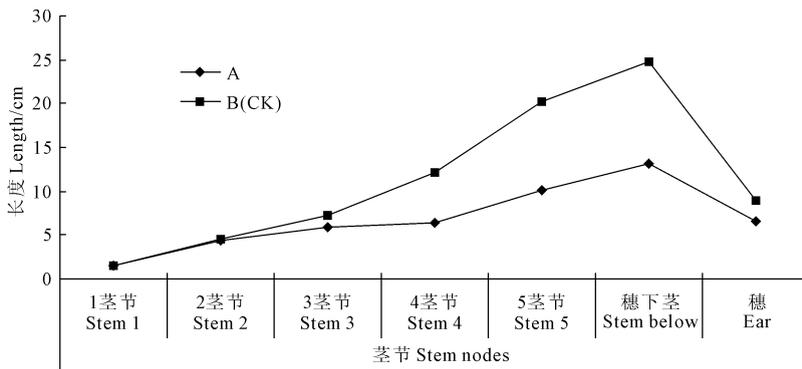


图 2 干旱胁迫对啤酒大麦单穗及茎节长度的影响

Fig.2 Influences of drought stress on malting barley ear and the stipes

从图 3 看出,由于苗期未受干旱胁迫,干旱胁迫和对照单株第一茎节、第二茎节节重无差异,从第三茎节开始干旱胁迫对单株茎节生长产生明显抑制作用

用,其中对第四茎节抑制最大,降幅为 23.2%,其次为穗下茎节、第五茎节、第三茎节。

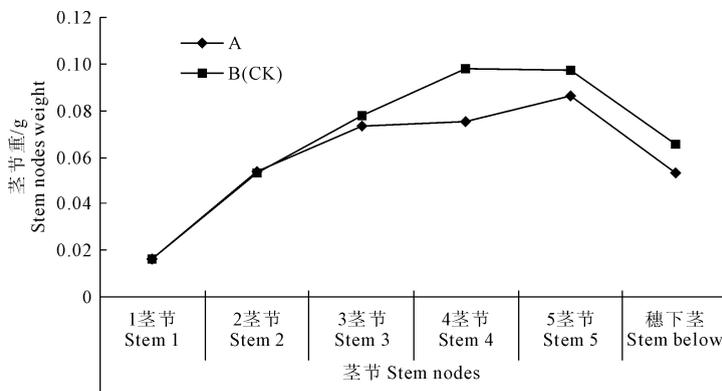


图 3 干旱胁迫对啤酒大麦单穗茎节节重的影响

Fig.3 Influences of drought stress on malting barley stem nodes weight

从图 4 看出,由于苗期未受干旱胁迫,干旱胁迫和对照单株倒六叶、倒五叶、倒四叶叶干重差异不明显,而且倒五叶片干重较对照倒五叶片干重增加 9.2%;从倒三叶片开始干旱胁迫对单株叶片干重具

有明显抑制作用,其中对旗叶叶干重抑制最大,降幅达 50.2%,其次为倒二叶,降幅为 34.3%,再次为倒三叶,降幅达 21.8%。

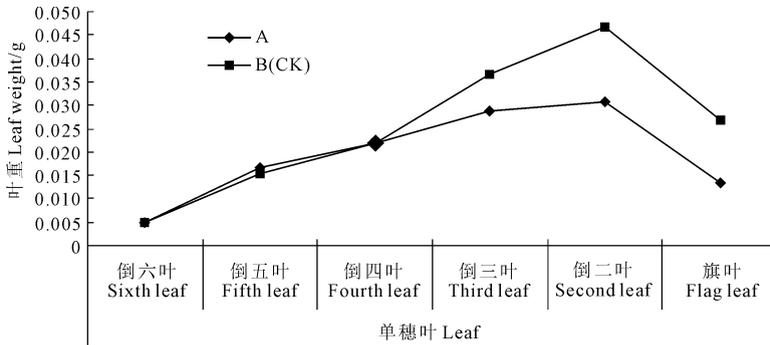


图 4 干旱胁迫对啤酒大麦单穗不同功能叶叶重的影响

Fig.4 Influences of drought stress on malting barley different functional leaf weight

从图 5 看出,由于苗期未受干旱胁迫,干旱胁迫和对照单株倒六叶叶鞘、倒五叶叶鞘、倒四叶叶鞘干重无差异,从倒三叶叶鞘开始干旱胁迫对单株叶鞘

生长发生明显抑制作用,其中对倒三叶叶鞘、倒二叶叶鞘抑制较大,降幅达 11.5%,其次为旗叶叶鞘,降幅为 8.6%。

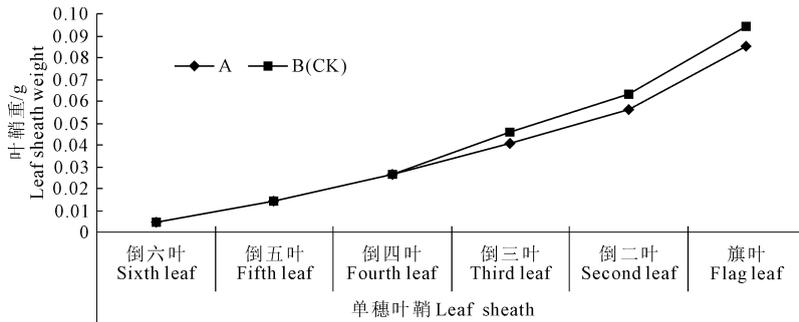


图 5 干旱胁迫对啤酒大麦单株不同叶鞘干重的影响

Fig.5 Influences of drought stress on malting barley leaf sheath dry weight

从图 6 看,干旱胁迫对基部籽粒和顶部籽粒粒重影响不大,对中部籽粒影响较大,干旱胁迫降低籽粒粒重,因为干旱胁迫缩短植株生育期,抑制植物茎、叶生长,减少物质能量的积累,致使粒重降低。

从图 7 看,干旱胁迫对大麦籽粒发芽产生明显的影响,其中 3 天发芽率 96%,较对照 99%降低了 3%,5 天发芽率为 96%较对照 100%降低 4%,说明干旱胁迫下大麦籽粒活性降低。

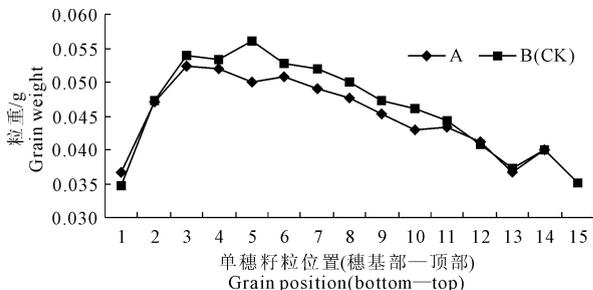


图 6 干旱胁迫对啤酒大麦单穗不同穗位单粒重的影响

Fig.6 Influences of drought stress on malting barley grain weight

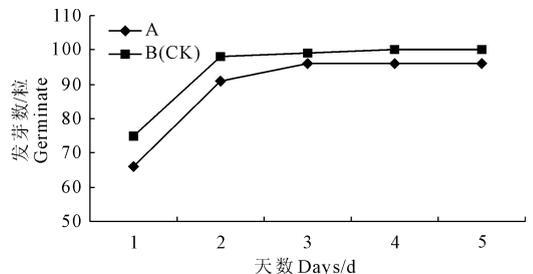


图 7 干旱胁迫对啤酒大麦籽粒发芽的影响

Fig.7 Influences of drought stress on malting barley germination

表3 干旱胁迫单穗地上各器官干重及占总干重的比例

Table 3 Drought stress on ratios of various organs dry weight and total dry weight

处理 Treatment	单穗穗重 Ear weight		单穗叶重 Leaf weight		单穗叶鞘重 Leaf sheath weight		单穗茎干重 Stem nodes weight	
	干重 Dry/g	占总干重 Ratio/%	干重 Dry/g	占总干重 Ratio/%	干重 Dry/g	占总干重 Ratio/%	干重 Dry/g	占总干重 Ratio/%
A	1.2613	64.3	0.1164	5.9	0.2269	11.6	0.3581	18.2
B(CK)	1.4520	64.2	0.1524	6.7	0.2482	11.0	0.4081	18.1
较对照降低(绝对值) Lower than control	-0.1907	—	-0.0360	—	-0.0213	—	-0.0500	—
较对照(相对值%) Compared with control	-13.1	—	-23.6	—	-8.6	—	-12.3	—

大麦植株是由穗、叶片、叶鞘、茎干四部分组成,从表3看出,干旱胁迫对大麦穗、叶片、叶鞘、茎干均发生抑制作用,干旱胁迫穗干重为1.2613 g,较对照1.4520 g降低0.1907 g,降幅达13.1%;叶片干重为0.1164 g较对照0.1524 g降低0.0360 g,降幅达23.6%;叶鞘干重为0.0069 g较对照0.2482 g降低0.0213 g,降幅达8.6%;茎干干重为0.3581 g较对照0.4081 g降低0.0500 g,降幅达12.3%;干旱胁迫下穗、茎节重、叶鞘干重与对照比总干重比例无明显变化,但叶重发生显著变化,干旱胁迫叶重占总干重5.9%较对照总干重6.7%降低0.8个百分点。

2.1.3 干旱胁迫对产量性状的影响 从表4看:由

于苗期未受干旱胁迫,处理和对照基本苗差异不大;成穗数,干旱胁迫对大麦成穗数具有明显抑制作用,干旱胁迫成穗数为455.55万穗·hm<sup>-2</sup>较对照756.90万穗·hm<sup>-2</sup>降低301.35万穗·hm<sup>-2</sup>,降幅为39.8%,说明干旱胁迫阻碍大麦生长发育,使单株分蘖力下降或由于干旱使部分单株和分蘖死亡;穗粒数为17.1粒较对照24.4粒降低7.3粒,降幅为29.9%,千粒重为40.7 g较对照48.2 g降低7.5 g,降幅为15.6%;产量为0.31 kg较对照0.92 kg降低0.61 kg,降幅为66.3%;经济系数54%较对52%升高2个百分点,增幅为3.8%。

表4 干旱胁迫对啤酒大麦产量性状的影响

Table 4 Influence of drought stress on malting barley yield components

处理 Treatment	基本苗 Basic seedlings (×10 <sup>4</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	成穗数 Ear number (×10 <sup>4</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	穗粒数 Grains per spike	千粒重 1000-Grain weight/g	产量 Yield /(kg·10m <sup>-2</sup> )	经济系数 Economic coefficient/%
A	384.30	455.55	17.1	40.7	0.31	54
B(CK)	388.35	756.90	24.4	48.2	0.92	52
较对照降低(绝对值) Lower than control	-4.05	-301.35	-7.3	-7.5	0.61	2
较对照(相对值%) Compared with control	-1.0	-39.8	-29.9	-15.6	66.3	3.8

说明干旱胁迫使大麦成活率降低,同时对分蘖、穗粒数、千粒重产生明显抑制,但对大麦经济系数无抑制还略有提高,提高3.8%,即干旱胁迫对大麦经济产量抑制小于对生物学产量的抑制。

干旱胁迫对大麦产量构成三因素成穗数、穗粒数、千粒重的影响顺序为对成穗数影响最大、其次为穗粒数、对千粒重影响最小。

## 2.2 对啤酒大麦品质性状的影响

2.2.1 对啤酒大麦原麦品质的影响 蛋白质含量是啤酒大麦的重要质量标准,在啤酒酿造过程中,许多工艺皆以它的水准为转移,如果蛋白质含量过高,溶解困难,浸出率低,制麦损失大,制成的啤酒容易发生混浊,稳定性也差,蛋白质含量过低也会影响啤

酒的风味和泡沫。结果表明(表5),干旱胁迫对大麦蛋白质含量产生明显影响,干旱胁迫大麦蛋白质为14.2%,较对照12.4%升高1.8个百分点,升幅为14.5%。对同一穗大麦不同部位蛋白质含量分析表明(表6),干旱胁迫下同一穗不同部位籽粒蛋白质含量均升高,其中干旱胁迫大麦基本籽粒蛋白质含量为14.3%较对照12.8%升高1.5个百分点,升幅达11.7%;中部籽粒蛋白质含量为12.8%较对照12.1%上升0.7个百分点,升幅为5.8%,顶部蛋白质含量为14.1%较对照12.5%升高1.6个百分点,升幅达12.8%。说明干旱胁迫对同一株同一穗不同部位籽粒蛋白质含量影响不同,升高趋势为顶部大于基本大于中部。

表 5 干旱胁迫对啤酒大麦原麦品质的影响

Table 5 Influences of drought stress on malting barley quality

处理 Treatment	蛋白质 Protein /%	千粒重 1000-Grain weight /g	淀粉 Starch /%	筛选率/% Screening rate		
				> 2.8mm	2.5 ~ 2.8mm	> 2.5mm
A	14.2	40.72	57.3	30.02	50.10	80.12
B(CK)	12.4	48.20	57.9	45.82	41.74	87.56
较对照降低(绝对值) Lower than control	1.8	- 7.48	- 0.6	- 15.80	8.36	- 7.44
较对照(相对值%) Compared with control	14.5	- 15.50	- 1.0	- 34.50	20.00	- 8.50

表 6 干旱胁迫对大麦不同穗部蛋白质含量和淀粉含量影响

Table 6 Influences of drought stress on barley panicle protein content and starch content

处理 Treatment	蛋白质 Protein/%			淀粉 Starch/%		
	基部 Basal	中部 Middle	顶部 Top	基部 Basal	中部 Middle	顶部 Top
A	14.3	12.8	14.1	57.1	56.6	56.7
B(CK)	12.8	12.1	12.5	57.5	57.0	57.7
较对照降低(绝对值) Lower than control	1.5	0.7	1.6	- 0.5	- 0.3	- 1.0
较对照(相对值%) Compared with control	11.7	5.8	12.8	- 0.8	- 0.6	- 1.8

所谓千粒重就是 1000 粒大麦的重量。如果按照 12% 的水分含量计算,自然风干的大麦千粒重应该在 42 克以上才能达到优级标准。在一定的范围内,大麦千粒重及籽粒大小和制成麦芽后的浸出率成正比,也就是与啤酒的产出率有关,所以啤酒企业非常重视啤酒大麦的千粒重指标。结果表明,干旱胁迫对大麦千粒重产生明显影响,干旱胁迫大麦千粒重为 40.72 g 较对照 48.2 g 降低 7.48 g,降幅达 15.5%。

淀粉含量,结果表明干旱胁迫对大麦淀粉含量产生明显影响,干旱胁迫大麦淀粉含量为 57.3% 较对照 57.9% 降低 0.6 个百分点,降幅为 1%。对同一穗大麦不同部位淀粉含量分析表明(表 6),干旱胁迫下同一穗不同部位籽粒淀粉含量均降低,其中干旱胁迫大麦基本籽粒淀粉含量为 57.1% 较对照 57.5% 降低 0.5 个百分点,降幅为 0.8%;中部籽粒淀粉含量为 56.6% 较对照 57.0% 降低 0.3 个百分点,降幅为 0.6%,顶部淀粉含量为 56.7% 较对照 57.7% 降低 1 个百分点,降幅为 1.8%。说明干旱胁迫对同一株同一穗不同部位籽粒淀粉含量影响不同,下降趋势为对顶部大于基本大于中部。

筛选率就是采用伏氏分选筛测定麦粒大小和均匀程度,此筛分 3 层筛孔,筛孔直径分别为 2.8 mm、2.5 mm 和 2.2 mm 3 组,国家标准规定筛选率为 2.5 mm 以上的麦粒的百分率。结果表明,干旱胁迫对大麦筛选率生明显影响,干旱胁迫大麦 > 2.5 mm 筛选率为 80.12%,较对照 87.56% 降低 7.44 百分点,

降幅为 8.5%,其中 > 2.8 mm 筛选率为 30.02% 较对照 45.82% 下降 15.8 百分点,降幅达 34.5%,2.5 ~ 2.8 mm 筛选率为 50.1% 较对照增加 8.36 个百分点,增幅为 20%。

说明干旱胁迫使大麦蛋白质含量升高,千粒重、淀粉含量和筛选率降低,但千粒重降幅大于筛选率大于淀粉含量。

2.2.2 干旱胁迫对啤酒大麦麦芽品质的影响 干旱胁迫对大麦酿造品质均发生明显的影响,干旱胁迫糖化时间为 8 min 较对照 10 min 减少 2 min,减幅达 20%;对色度无影响;糖化力为 432WK 较对照 438WK 降低 6WK,降幅为 1.4%;粘度为 1.44 mPa.s 较对照降低 0.05 mPa.s,降幅为 3.4%;微粉浸出率为 78.8% 较对照 79.8% 降低 1 个百分点,降幅为 1.3%;粗粉浸出率为 76.9% 较对照增加 0.3 个百分点,增幅为 0.4%;粗细粉差为 1.9,较对照 3.2 降低 1.3; $\beta$ -葡聚糖为 17.0  $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$  较对照 16.8  $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$  升高 0.2  $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ,增幅为 1.2%; $\alpha$ -氨基氮为 198  $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$  较对照 160  $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$  增加 38  $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ,增幅为 23.8%;可溶性氮为 849  $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$  较对照 742  $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$  增加 107  $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ,增幅为 14.4%;麦芽蛋白质为 14%,较对照 12.2% 增加 1.8 个百分点,增幅为 14.8%;库值为 38%,较对照 37% 增加 1 个百分点,增幅为 2.7%。结果表明干旱胁迫使麦芽糖化时间、糖化力、粘度、 $\beta$ -葡聚糖、微粉浸出率、粗细粉差降低,粗粉浸出率、 $\alpha$ -氨基氮、可溶性氮、麦芽蛋白质、库值升高,对色度无影响。

表7 干旱胁迫对大麦酿造品质的影响

Table 7 Influences of drought stress on malting barley malting quality

处理 Treatment	糖化 时间 saccharif ying time /min	色度 Chroma /EBC	糖化力 Diastatic power /WK	粘度 Viscosities /(mPa·s)	微粉 浸出率 Fine powder extract /%	$\beta$ -葡聚糖 $\beta$ - glucanase /(mg· 100g <sup>-1</sup> )	粗粉 浸出率 Coarse powder extract /%	粗细 粉差 Extract /(f·c <sup>-1</sup> )	a-氨基氮 $\alpha$ -amino nitrogen /(mg· 100g <sup>-1</sup> )	可溶性氮 Soluble nitrogen /(mg· 100g <sup>-1</sup> )	蛋白质 Protein /%	库值 Kolbach index /%
A	8	3.25	432	1.44	78.8	17	76.9	1.9	198	849	14	38
B(CK)	10	3.25	438	1.49	79.8	16.8	76.6	3.2	160	742	12.2	37
较对照降低(绝对值) Lower than control	-2	0	-6	-0.05	-1	0.2	0.3	-1.3	38	107	1.8	1
较对照(相对值%) Compared with control	-20.0	0.0	-1.4	-3.4	-1.3	1.2	0.4	-40.6	23.8	14.4	14.8	2.7

### 3 讨论

#### 3.1 干旱胁迫对啤酒大麦农艺性状、生育期进程的影响

许多研究表明干旱胁迫影响作物的一系列生理代谢功能<sup>[18-19]</sup>,进一步影响了植株各器官的生长。干旱使作物株高、总生物量干重和籽粒干重等指标降低,严重使作物死亡<sup>[20-21]</sup>。干旱胁迫导致植株体内水分缺乏,必然会影响到生理生化过程和器官建成,对植株生长发育造成严重的伤害,且干旱程度越严重,影响越大,本研究结果表明干旱胁迫大麦各生育期提前、成活率降低、分蘖减少、单株株高、穗长、单株穗数、单株粒数、单株粒重、单穗粒重、穗粒数均降低。

#### 3.2 干旱胁迫对啤酒大麦产量性状的影响

大量研究表明干旱胁迫对作物同化物质积累和储藏极为不利,进而影响营养物质传输与再分配<sup>[22]</sup>,干旱胁迫明显缩短籽粒灌浆过程,出现早衰现象<sup>[23-24]</sup>。一种观点认为干旱造成同化物向籽粒运输不足导致千粒重下降幅度大,另一种观点认为干旱致使有效灌浆持续时间缩短<sup>[25]</sup>,一般而言,所有受到干旱胁迫影响的植株,其籽粒灌浆持续时间大约缩短2~9天,籽粒灌浆速率下降8%~18%<sup>[26]</sup>。这样就缩短了后期的生长时间,果实和颗粒生长发育不健全,最终影响产量<sup>[27]</sup>。此外,水分胁迫直接影响籽粒的水分状况,籽粒的水分状况可能是籽粒发育的重要决定因素,开花后水分缺乏缩短了籽粒灌浆有效持续期,是由于水分缺乏胚乳失水干燥提早成熟和限制了胚的体积<sup>[28]</sup>。干旱胁迫还直接导致植物早衰而降低植物的光合能力,甚至趋于停止,并进一步限制生长。同时干旱不仅影响同化物的积累,而且会削弱同化物质在体内的运输,最终导致籽粒充实度不高,瘪谷增多,籽粒不饱满,

千粒重下降,通过对产量构成因子的影响,从而使粒重降低导致减产。本研究结果表明干旱胁迫使大麦成穗数、穗粒数、千粒重均降低,但对成穗数影响最大、其次为穗粒数、对千粒重影响最小。对大麦经济系数无抑制还略有提高,说明干旱胁迫对大麦经济产量抑制小于对生物学产量的抑制。

#### 3.3 干旱胁迫对啤酒大麦品质性状的影响

大麦籽粒蛋白质含量既受遗传控制,又易受环境的影响<sup>[29-31]</sup>,其的变异来源主要系环境所致<sup>[32-34]</sup>。大量研究表明干旱与热胁迫条件下,大麦籽粒蛋白质含量显著提高,与本研究结果一致,干旱胁迫使大麦蛋白质含量明显升高。

大麦千粒重不仅受其本身遗传因素的影响,还与栽培条件及产地的环境条件有关<sup>[35-36]</sup>。主要是和灌浆期的气候因子有密切的关系,干旱胁迫缩短植株生育期,抑制植物茎、叶生长,减少物质能量的积累<sup>[35]</sup>。本研究结果表明,干旱胁迫使大麦千粒重、淀粉含量和筛选率降低,但千粒重降幅大于筛选率大于淀粉含量。

Morgan和Riggs(1991)研究认为,大麦受水分胁迫使籽粒 $\beta$ -葡聚糖含量提高,浸出率下降,导致啤酒品质恶化。本研究结果表明干旱胁迫对大麦酿造品质具有显著影响,其中干旱胁迫使麦芽糖化时间、糖化力、粘度、 $\beta$ -葡聚糖、微粉浸出率、粗细粉差降低,粗粉浸出率、a-氨基氮、可溶性氮、蛋白质、库值升高,对色度无影响。

#### 参考文献:

- [1] Watson R T, The Core Writing Team. IPCC, Summary for Policymakers. In: Climate Change 2001: Synthesis Report [M]. Geneva, Switzerland: IPCC, 2001: 1-34.
- [2] Parry M L, Canziani O F, Palutikof J P, et al. IPCC, Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and

- Vulnerability[M]. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge UK: Cambridge University Press, 2007:7-22.
- [3] 康绍忠. 新的农业科技革命与 21 世纪我国节水农业的发展[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(1): 11-17.
- [4] 汪本福, 黄金鹏, 杨晓龙, 等. 干旱胁迫抑制作物光合作用机理研究进展[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(23): 5628-5631.
- [5] 杨帆, 苗灵凤, 胥晓, 等. 植物对干旱胁迫的响应研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2007, 13(4): 586-591.
- [6] 张仁和, 郑友军, 马国胜, 等. 干旱胁迫对玉米苗期叶片光合作用和保护酶的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(5): 1303-1311.
- [7] 赵雅静, 翁伯琦, 王义祥, 等. 植物对干旱胁迫的生理生态响应及其研究进展[J]. 福建稻麦科技, 2009, 27(2): 45-50.
- [8] 张红萍, 李明达. 干旱胁迫对作物生理特性影响的研究进展[J]. 节水农业, 2010, 23: 06-07.
- [9] 杨雪莲, 朱友娟. 植物干旱胁迫研究进展[J]. 农业工程, 2012, (11): 44-45.
- [10] Chaves M M, Pereira J S, Maroc J. Understanding plant response to drought from genes to the whole plant[J]. *Funct Plant Biol*, 2003, 89: 239-264.
- [11] Goodwin S M, Jenks M A. Plant cuticle function as a barrier to water loss[C]//Jenks M A, Hasegawa P M. *Plant Abiotic stress*. Oxford, UK: Blackwell Publishing, Inc, 2005: 14-32.
- [12] SHEN YeJIA, WEI - long, ZHANG Yan - qin, et al. Improvement of drought tolerance in transgenic tobacco plants by a dehydrin-like gene transfer[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2004, 3(8): 575-583.
- [13] 张海禄, 齐军仓, 聂石辉. 干旱胁迫对大麦农艺性状的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2013, (1): 1-5.
- [14] 鞠乐, 齐军仓, 成禄艳, 等. 大麦种子萌发期对干旱胁迫的生理响应及其抗旱性评价[J]. 西南农业学报, 2013, 26(1): 93-98.
- [15] 陈健辉, 李荣华, 郭培国, 等. 干旱胁迫对不同耐旱性大麦品种叶片超微结构的影响[J]. 植物学报, 2011, 46(1): 28-36.
- [16] 闫洁, 曹连莆, 沈军队, 等. 干旱胁迫对大麦籽粒灌浆特性及内源激素的影响[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(3): 435-439.
- [17] 闫洁, 曹连莆, 沈军队, 等. 花后干旱胁迫对大麦子粒碳、氮化合物积累的影响[J]. 湖北农业科学, 2006, 45(3): 288-292.
- [18] Hsiao T C. Plant responses to water stress[J]. *Ann Rev Plant physiol*, 1973, 24: 519-570.
- [19] 许振柱, 于振文. 土壤干旱对冬小麦旗叶乙烯释放”多胺积累和细胞质膜的影响[J]. 植物生理学报, 1995, 21(3): 295-301.
- [20] Goodwin S M, Jenks M A. Plant cuticle function as a barrier to water loss[C]//Jenks M A, Hasegawa P M. *Plant Abiotic Stress*. Oxford, UK: Blackwell Publishing, Inc, 2005: 14-32.
- [21] Wang T, Zhang X, Li C. Growth, Abscisic acid content, and carbon isotope composition in wheat cultivars grown under different soil moisture[J]. *Biologia Planetarium*, 2007, 51(1): 181-184.
- [22] 白莉萍, 隋方功, 孙朝晖, 等. 土壤水分胁迫对玉米形态发育及产量的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(7): 1556-1560.
- [23] 肖俊夫, 刘战东, 段爱旺, 等. 不同灌水处理对冬小麦籽粒灌浆过程的影响研究[J]. 节水灌溉, 2007, (1): 9-12.
- [24] 张秋英, 李东发, 高克昌, 等. 水分胁迫对冬小麦光合特性及产量的影响[J]. 西北植物学报, 2005, 25(6): 1184-1190.
- [25] 王伟东, 王璞, 王启现. 灌浆期温度和水分对玉米籽粒建成及粒重的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2001, 13(2): 19-24.
- [26] 宋凤斌, 戴俊英. 干旱胁迫对玉米雌穗生长发育和产量的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2000, 22(1): 18-22.
- [27] 张英普, 何武权, 韩健. 水分胁迫对玉米生理生态特性的影响[J]. 西北水资源与水工程, 1999, 10(3): 18-21.
- [28] Westgate M E. Water status and development of the maize endosperm and embryo during drought[J]. *Crop Sci*, 1994, 34: 76-83.
- [29] Smith D B. Barley seed protein and its effects on malting and brewing quality[J]. *Plant Varieties Seeds*, 1990, 3: 63-80.
- [30] 陆炜, 孙立军, 张京, 等. 我国大麦品种蛋白质、赖氨酸、淀粉含量[M]. 中国大麦文集: 第二集, 西安: 陕西科学技术出版社, 1991: 32-35.
- [31] Molina - Cano JL, Francesch M, Perez Vendrell AM, et al. Voltas J and Brufau J Genetic and environmental variation in malting and feed quality of barley[J]. *Journal of Cereal Science*, 1997, 25: 37-47.
- [32] 齐军仓, 王鹏, 汪飞, 等. 啤酒大麦麦芽品质性状的基因型和环境变异及其之间的相互关系[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2007, (2): 18-22.
- [33] Kaczmarek K, Adamski T, Surma M, et al. Genotype environment interaction of barley doubled haploids with regard to malting quality[J]. *Plant Breeding*, 1999, 118: 243-247.
- [34] Zhang G P, Chen J X, Wang J M, et al. Cultivar and environmental effects on  $\beta$ -Glucan and protein content in malting barley[J]. *Journal of Cereal Science*, 2001, 34: 295-301.
- [35] 陆炜, 高达时, 冯仁昌. 中国大麦生态区划[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1991: 14-15.
- [36] Sagher AR, A Rkhan, WW Worzella. Effect of plant parts on the grain yield kernal weight and plant height of wheat and barely[J]. *Agric*, 1968, 60: 95-97.