

## 种植密度和施氮量对啤用大麦生长、产量及品质的影响

张金汕<sup>1,2</sup> 董庆国<sup>2</sup> 方伏荣<sup>3\*</sup> 王仙<sup>3</sup> 王钊英<sup>4</sup>

郑伟<sup>2</sup> 胡艳红<sup>2</sup> 赵风兰<sup>5</sup> 张建平<sup>5</sup>

1. 新疆农业大学农学院, 乌鲁木齐 830052;
2. 塔城市农业技术推广中心站, 新疆塔城 834700;
3. 新疆农业科学院粮食作物研究所, 乌鲁木齐 830091;
4. 新疆农业科学院国际合作交流处, 乌鲁木齐 830091;
5. 额敏县农业技术推广站, 新疆额敏 834600

**摘要** 以甘啤4号为供试材料,采用裂区试验研究了种植密度和施氮量对啤酒大麦生长发育、产量及品质的影响。试验中,主区种植密度(D)设325(D<sub>325</sub>)、375(D<sub>375</sub>)和425万株/hm<sup>2</sup>(D<sub>425</sub>)3个水平;裂区施氮量(N)设0(N<sub>0</sub>)、75(N<sub>75</sub>)、150(N<sub>150</sub>)、225(N<sub>225</sub>)和300 kg/hm<sup>2</sup>(N<sub>300</sub>)5个水平。结果表明,密度对大麦植株氮磷钾含量、旗叶SPAD值、穗下节间长度及主要品质性状等影响均不显著,而对株高、茎秆直径、旗叶叶面积和成穗率的影响达显著性水平。株高、茎秆直径和旗叶叶面积与施氮量呈显著正相关;植株含氮量、穗长、穗粒数、结实率、籽粒产量和蛋白质含量随施氮量增加表现为显著增加,而成穗数、成穗率和千粒重随施氮量增加表现为先升高后降低;淀粉含量随施氮量增加表现为显著降低。种植密度和施氮量的交互仅对株高、茎秆直径、成穗率和穗粒数有显著影响,对其余指标影响均不显著。籽粒产量(Y)和粗蛋白含量(Y<sub>1</sub>)与种植密度(X<sub>7</sub>)、施氮量(X<sub>8</sub>)的逐步回归方程分别为 $Y = 12.627 + 0.007 X_8$ ,  $Y_1 = -27161.600 + 161.645 X_7 - 0.216 X_7^2 - 0.003 X_8^2 + 0.015 X_7 \times X_8$ 。综合考虑各项指标,当甘啤4号种植密度为385万株/hm<sup>2</sup>、施氮量为124.71 kg/hm<sup>2</sup>时,既能提高产量,又能保证其酿造品质达到最佳。

**关键词** 大麦;施氮;密度;产量;品质

中图分类号 TS 262.5

文章编号 1007-4333(2016)07-0023-10

文献标志码 A

## Effect of planting density and N application rate on growth, yield and quality of malt barley

ZHANG Jin-shan<sup>1,2</sup>, DONG Qing-guo<sup>2</sup>, FANG Fu-rong<sup>3\*</sup>, WANG Xian<sup>3</sup>, WANG Zhao-ying<sup>4</sup>,  
ZHENG Wei<sup>2</sup>, HU Yan-hong<sup>2</sup>, ZHAO Feng-lan<sup>5</sup>, ZHANG Jian-ping<sup>5</sup>

(1. College of Agronomy of Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Tacheng Agricultural Technology Promotion Center, Tacheng 834700, China;

3. Research Institute of Cereal Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China;

4. Office of International Cooperation and Exchange Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China;

5. Emin Agricultural Technology Promotion Stations, Emin 834600, China)

**Abstract** Split-plot design was carried out to study the effect of planting density and nitrogen application amount on growth, yield and quality in malting barley named Ganpi 4. The main plot was planting density (D) at three levels, 3.25, 3.75 and 4.25 million/hm<sup>2</sup>, marked D<sub>325</sub>, D<sub>375</sub>, and D<sub>425</sub>, and subplot were five N application rate (N) level at 0, 75, 150, 225 and 300 kg/hm<sup>2</sup>, marked N<sub>0</sub>, N<sub>75</sub>, N<sub>150</sub>, N<sub>225</sub> and N<sub>300</sub>. The results showed that: The effect of density on the content of

收稿日期: 2015-12-29

基金项目: 大麦(青稞)产业技术体系建设专项(CARS-05)

第一作者: 张金汕, 硕士研究生, E-mail: zhangjinshan0530@sina.com

通讯作者: 方伏荣, 研究员, 主要从事大麦遗传育种、栽培技术研究, E-mail: ffr118@sina.com

nitrogen, phosphorus and potassium of plant, SPAD value of flag leaf, the length of peduncle and main quality traits were not significant, but all significantly affected plant height, stem diameter, leaf area of the flag leaf and ear bearing tiller percentage. Plant length, stem diameter and leaf area of the flag leaf were all significantly positively correlated with N application rate. The nitrogen content of plant, spike length, grains per spike, seed setting rate, grain yield and protein content showed a significant increase with the increase of nitrogen application rate. However, the spike number, spike rate and 1000-grain weight increased first and then decreased with the increase of N application rate, the starch content showed significant decreased with the increase of nitrogen application rate. Planting densities and N application rate of interactions only has remarkable effect on plant height, stem diameter, earing rate and spike grain number, but were not significant effects on the rest of the indicators. The stepwise regression equations between grain yield ( $Y$ ), crude protein content ( $Y_1$ ) and planting density ( $X_7$ ), N application rate ( $X_8$ ) were:  $Y = 12.627 + 0.007 X_8$ ,  $Y_1 = -27161.600 + 161.645 X_7 - 0.216 X_7^2 - 0.003 X_8^2 + 0.015 X_7 \times X_8$ . Considering the indicators, when the Ganpi 4 planting density of 3.85 million/hm<sup>2</sup>, N application rate of 124.71 kg/hm<sup>2</sup>, which can improve both the yield and the quality at the same time.

**Keywords** barley; N application; density; yield; quality

大麦是我国主栽农作物之一,兼具食用、饲用和酿造啤酒等多种用途<sup>[1]</sup>。生产中因用途不同,对大麦品质的要求也不同。食用和饲用要求蛋白质含量高,而啤酒大麦要求蛋白质含量适中或偏低,千粒重40~48 g为最佳<sup>[2]</sup>。前人研究发现,种植密度、施氮量等栽培措施对大麦植株性状、产量和品质均有很大影响。随种植密度增大,大麦主穗粒重、单穗粒数等性状均呈现降低趋势<sup>[3]</sup>,而产量呈增加趋势,且增至600万株/hm<sup>2</sup>时达到最高,继续增加播量则产量开始下降;籽粒蛋白质含量也因种植密度的不同而存在显著差异<sup>[4]</sup>。还有研究表明,种植密度对植株干物质积累、分蘖、有效穗数及产量均有显著性影响<sup>[5]</sup>。

关于施氮量对大麦产量和品质影响的研究较多。前人研究表明,增施氮肥能很好地促进群体分蘖,实现高产<sup>[6-7]</sup>。且施氮量0~225 kg/hm<sup>2</sup>时,随着施氮量增加,植株茎秆氮含量显著提高;施氮量提高至300 kg/hm<sup>2</sup>后,氮含量上升的幅度开始变小<sup>[8-9]</sup>。籽粒蛋白质含量也随施氮量增加而明显提高<sup>[10-11]</sup>;当施氮量不超过150 kg/hm<sup>2</sup>范围时,各处理间籽粒蛋白质含量差异不显著,而当施氮量上升到225 kg/hm<sup>2</sup>时,各处理之间的差异达到显著性水平<sup>[12]</sup>。且大麦生长后期增施氮肥,籽粒蛋白质含量上升的幅度更大<sup>[13]</sup>。然而,目前关于密度和施氮量对大麦生长发育及主要品质性状的研究仍少见报道。本试验结合新疆大麦生产实际,采用裂区试验设计,主区为种植密度,裂区为施氮量,研究分析了密度和施氮量对大麦生长发育、产量和品质等影响,旨在为大麦高产、优质和高效率生产提供理论基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计

试验于2015年在塔城市博孜达克农场试验田进行(83°14'55.82" E, 46°40'29.49" N, 海拔565 m)。土壤为棕钙土类中层砾质土。试验前0~20 cm土层pH 8.45,含有机质14.56 g/kg、全氮0.67 g/kg、碱解氮74 mg/kg、速效磷7 mg/kg、速效钾238 mg/kg。翻耕前统一施基肥磷酸二铵(含N 18%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%) 180 kg/hm<sup>2</sup>。供试品种为甘啤4号,播期为2015年4月20日。前茬作物为玉米。

试验采用裂区设计,主区为种植密度(D),设低、中、高密度3个处理水平:D<sub>325</sub>(325万株/hm<sup>2</sup>)、D<sub>375</sub>(375万株/hm<sup>2</sup>)、D<sub>425</sub>(425万株/hm<sup>2</sup>);裂区为施氮量(N),共5个处理水平:N<sub>0</sub>(0 kg/hm<sup>2</sup>)、N<sub>75</sub>(75 kg/hm<sup>2</sup>)、N<sub>150</sub>(150 kg/hm<sup>2</sup>)、N<sub>225</sub>(225 kg/hm<sup>2</sup>)、N<sub>300</sub>(300 kg/hm<sup>2</sup>)。氮肥用量按施尿素(含N 46%)的量进行,并于分蘖期施入土壤,行长2 m,行距0.2 m,小区面积8 m<sup>2</sup>,3次重复。其他管理措施同中产田一致。

### 1.2 测定指标与方法

#### 1.2.1 旗叶叶面积及 SPAD 值的测定

各处理于大麦开花后0、5、15和20 d 10:00—12:00,采用SPAD叶绿素测定仪(Manolta-502)测定旗叶的SPAD值,各处理测定15株,每次测定取旗叶3个不同部位的平均值;叶面积测量采用系数法<sup>[14]</sup>,公式为:叶面积=叶长×叶宽×0.65。

#### 1.2.2 植株 N、P、K 含量的测定

在大麦生长发育期间,分别于施氮肥后0、15、

30、45、60、75、90 d, 取长势一致的 10 株样, 测定植株茎叶中的 N、P、K 含量。待测样品在 105 °C 的恒温箱内杀青 30 min 后, 于 80 °C 的恒温下烘至恒重, 称其干重。烘干样粉碎后, 用浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮, 采用半微量凯氏定氮法<sup>[15]</sup>测定样品全氮含量, 钒钼黄比色法测定磷素含量(以 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> % 计), 火焰光度法测定素钾含量(以 K<sub>2</sub>O % 计)。

1.2.3 籽粒品质的测定

采用 FOSS Infratec 1241 近红外谷物分析仪测定籽粒蛋白质含量、淀粉含量和含水量。

1.3 数据处理与分析

用 Excel 2007、DPS 7.05 统计软件进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 施氮量对不同种植密度大麦生长发育的影响

2.1.1 施氮量对不同种植密度下大麦植株 N、P、K 含量的影响

密度对大麦植株氮、磷、钾含量的影响均不显著 ( $P > 0.05$ ), 而施氮量的影响达到显著性差异。大麦茎秆和叶片中氮素含量随生育进程的推进逐渐降低, 且拔节期至抽穗期变化较大, 灌浆期至成熟期变化较小; 而穗部氮含量则呈增大的趋势。对施氮处理进行多重比较发现, 增加施氮量, 植株各生育时期氮的含量也增大, N<sub>225</sub> 处理下达到最大, 继续增大施氮量, 植株氮含量反而下降(图 1)。

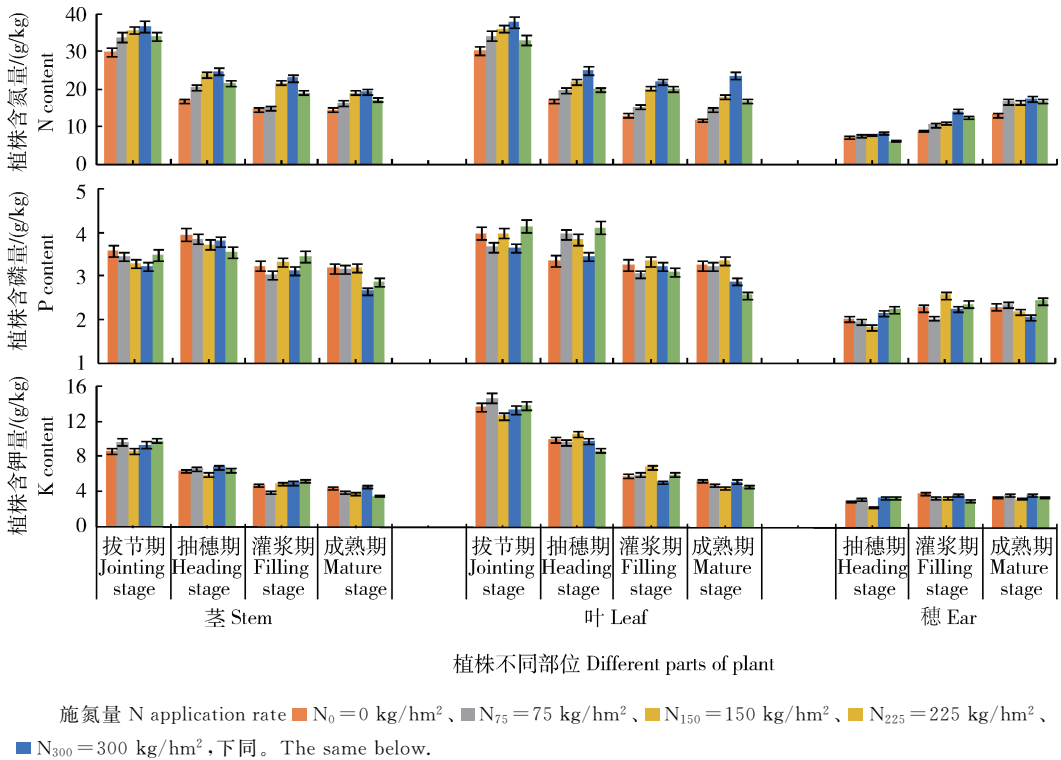


图 1 施氮量对不同种植密度大麦氮、磷和钾含量动态的影响

Fig. 1 Effect of N application rate on N, P and K content of malt barley at different planting density

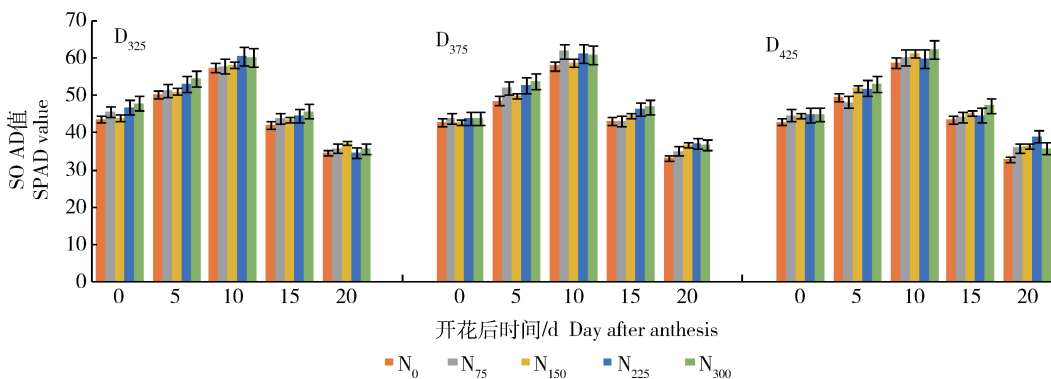
茎、叶中磷含量随生育进程的推进, 表现为先升高后降低, 且抽穗期达到最大, 灌浆期和成熟期变化较小; 穗部磷含量变化也较小。施氮量不同, 各生育时期磷含量均存在差异, N<sub>300</sub> 处理下最大, 但差异不显著。茎、叶中钾含量随生育进程的推进表现为逐渐下降的趋势, 下降趋势较为平稳, 且施氮量对植株及籽粒钾含量无显著影响。

2.1.2 施氮量对旗叶 SPAD 值的动态影响

SPAD 值是反映植株光合能力的重要参数。随

着生育进程的推进, 旗叶 SPAD 值在花后表现为先升高后降低的变化趋势(图 2), 且于花后 10 d SPAD 值达到最大值。这表明, 大麦旗叶在开花后 10 d 光合能力达到最强, 随后开始迅速降低。方差分析表明, 种植密度对旗叶 SPAD 值的影响不显著, 但随着施氮量的增加, 旗叶 SPAD 值略有增加趋势, 施氮量  $\geq N_{225}$  处理时, 增加较明显, 但均无显著差异。其中, 开花后 0、5、10、15 和 20 d, N<sub>300</sub> 处理比 N<sub>0</sub> 处理 SPAD 值分别高 5.62%、8.59%、

5.31%、4.01%和1.69%，说明，施氮量 $\geq N_{225}$ 处理，能有效减缓大麦开花后0~20 d旗叶叶绿素的降解，延长旗叶的光合时间。



种植密度  $D_{325} = 325$  万株/hm<sup>2</sup>、 $D_{375} = 375$  万株/hm<sup>2</sup>、 $D_{425} = 425$  万株/hm<sup>2</sup>。

Planting density  $D_{325} = 3.25$  million/hm<sup>2</sup>,  $D_{375} = 3.75$  million/hm<sup>2</sup> and  $D_{425} = 4.25$  million/hm<sup>2</sup>.

图2 施氮量对不同种植密度下大麦旗叶花后SPAD值的影响

Fig. 2 Effect of N application rate on SPAD value of flag leaf of malt barley at different planting density

### 2.1.3 对农艺性状的影响

方差分析表明，种植密度对株高、茎秆直径和旗叶叶面积有极显著影响( $P < 0.01$ )，对穗下节间长度的影响不显著( $P > 0.05$ )。随着种植密度的增大，株高、茎秆直径和旗叶叶面积均表现为下降趋势

(表1)。其中，株高在  $D_{425}$  处理下比  $D_{375}$ 、 $D_{325}$  处理下降4.80%和7.78%，差异显著；茎秆直径在  $D_{375}$  和  $D_{325}$  之间差异不显著， $D_{425}$  比  $D_{325}$  处理显著下降11.21%；旗叶叶面积在  $D_{425}$  处理下比  $D_{375}$ 、 $D_{325}$  处理显著下降15.28%和8.77%。

表1 施氮量对不同种植密度下大麦农艺性状的影响

Table 1 Effect of N application rate on agronomic characters of malt barley at different planting density

项目 Index	处理 Treatments	$N_0$	$N_{75}$	$N_{150}$	$N_{225}$	$N_{300}$	平均 Average
株高/cm Stem length	$D_{325}$	50.04 c	63.63 b	65.30 b	71.59 a	66.80 b	63.47 a
	$D_{375}$	57.03 c	58.25 c	59.53 bc	62.00 b	70.60 a	61.48 ab
	$D_{425}$	47.88 c	58.45 b	57.70 b	60.94 b	67.69 a	58.53 b
	平均 Average	51.65 d	60.11 c	60.84 c	64.84 b	68.36 a	
茎秆直径/mm Stem diameter	$D_{325}$	2.68 c	3.32 b	3.25 b	3.21 b	3.58 a	3.21 a
	$D_{375}$	2.98 b	3.04 b	3.14 ab	3.09 b	3.33 a	3.12 a
	$D_{425}$	2.57 b	2.93 a	2.79 ab	3.02 a	2.94 a	2.85 b
	平均 Average	2.74 c	3.10 b	3.06 b	3.11 b	3.28 a	
穗下节间长度/cm First inter node length counted from the top	$D_{325}$	15.76 c	18.14 b	18.10 b	20.96 a	19.09 ab	18.41 a
	$D_{375}$	16.06 c	18.58 b	17.64 bc	18.40 bc	22.90 a	18.72 a
	$D_{425}$	15.63 c	15.68 c	17.80 bc	18.54 ab	20.76 a	17.68 a
	平均 Average	15.82 d	17.46 cd	17.85 bc	19.30 ab	20.92 a	
旗叶叶面积/cm <sup>2</sup> Area of the flag leaf	$D_{325}$	9.33 d	10.40 cd	11.83 bc	13.29 ab	14.70 a	11.91 a
	$D_{375}$	9.21 c	9.06 c	12.19 ab	13.59 a	11.24 b	11.06 ab
	$D_{425}$	8.02 b	9.49 ab	11.20 a	10.69 a	11.07 a	10.09 b
	平均 Average	8.85 b	9.65 b	11.74 a	12.34 a	12.52 a	

注：小写字母不同，表示在0.05水平上差异显著(下同)。

Note: Different letters indicate significant differences at the 0.05 level. The same below.

施氮量对株高、茎秆直径、旗叶叶面积和穗下节间长度的影响均达极显著水平 ( $P < 0.01$ )，且与施氮量呈显著的正相关关系，相关系数分别为 0.96、0.88、0.99 和 0.95。其中，株高和茎秆直径分别在  $N_{75}$  和  $N_{150}$  之间、 $N_{75}$  和  $N_{225}$  之间差异不显著，其余各处理差异显著。旗叶叶面积在  $N_0 \sim N_{75}$ 、 $N_{150} \sim N_{300}$  差异不显著，而各处理穗下节间长度均差异显著。

种植密度和施氮量的互作对株高和茎秆直径的影响极显著 ( $P < 0.01$ )，对旗叶叶面积 ( $P > 0.05$ ) 和穗下节间长度 ( $P > 0.05$ ) 的影响均不显著。随着施氮量的增加，株高在  $D_{325}$ 、 $D_{375}$  和  $D_{425}$  处理下的变异系数分别为 12.72%、8.82% 和 12.20%，而茎秆直

径的变异系数分别为 10.23%、4.28% 和 6.21%，说明， $D_{375}$  处理大麦株高和茎秆直径受施氮量影响最小。

## 2.2 施氮量对不同种植密度下大麦产量的影响

### 2.2.1 对产量构成的影响

种植密度仅对成穗率的影响达到显著水平，对其他产量构成因素无显著性影响 (表 2)。随着播种量增大，成穗率下降；且  $D_{325}$  处理比  $D_{375}$  和  $D_{425}$  处理分别高 1.91% 和 7.35%， $D_{325}$  和  $D_{375}$  之间差异不显著， $D_{325}$  和  $D_{425}$  之间的差异达到显著。成穗数、穗长、千粒重及产量均随种植密度的增大先升高后降低，而穗粒数和结实率随播种密度增大而增大，但均无显著差异。

表 2 施氮量对不同种植密度下大麦产量构成因素的方差分析

Table 2 Analysis of variance model of N application rate on yield component of malt barley at different planting density

项目 Index	变异来源 Variation sources					
	密度(D) Density		施氮量(N) N application		密度×施氮 D×N	
	F	P	F	P	F	P
成穗数 Spike number	2.612	0.188 1	4.466 *	0.007 7	0.867	0.556 9
成穗率 Ear bearing tiller percentage	18.118 *	0.009 9	27.202 *	0.000 1	3.487 *	0.008 3
穗粒数 Grains per spike	0.066	0.937 5	3.806 *	0.015 6	3.389 *	0.009 6
结实率 Ripening rate	1.626	0.231 7	4.936 *	0.001 3	0.908	0.514 2
穗长 Spike length	1.213	0.387 4	6.334 *	0.001 3	0.955	0.492 2
千粒重 1 000-grain weight	0.596	0.593 4	3.607 *	0.019 4	1.926	0.102 4
产量 Yield	0.634	0.576 7	5.174 *	0.003 8	0.326	0.947 8

注：\* 表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: \* Indicate significant difference at the 0.05 level.

施氮量对上述指标的影响均达显著水平，且影响程度从大到小顺序为：成穗率 > 穗长 > 产量 > 结实率 > 成穗数 > 穗粒数 > 千粒重。随着施氮量的增

加，穗长、穗粒数、结实率和产量均表现为增加趋势 (表 3)；且  $N_{300}$  处理比  $N_0$  分别高 16.29%、22.03%、4.64% 和 55.42%，差异均达到显著水平；而成穗

数、成穗率和千粒重随施氮量增加先升高后降低;其中,成穗率在  $N_{150}$  处理下达到最大,比  $N_0$  显著增高 8.60%;成穗数和千粒重在  $N_{225}$  处理下最大,比  $N_0$

处理显著增高 49.95%和 8.24%。这表明,在一定范围内,施氮量对产量构成因素和产量均有促进作用。

表 3 施氮量对不同种植密度下大麦产量构成因素的影响

Table 3 Effect of N application rate on yield component of malt barley at different planting density

项目 Index	处理 Treatment	$N_0$	$N_{75}$	$N_{150}$	$N_{225}$	$N_{300}$	平均 Average
成穗数/(万/hm <sup>2</sup> ) Spike number	$D_{325}$	165.75 d	234.40 cd	280.20 bc	373.10 a	321.15 ab	274.92 a
	$D_{375}$	269.30 a	333.95 a	359.50 a	350.45 a	340.45 a	330.73 a
	$D_{425}$	260.65 a	303.40 a	292.45 a	319.65 a	326.90 a	300.61 a
	平均 Average	231.90 b	290.58 ab	310.72 a	347.73 a	329.50 a	
成穗率/% Ear bearing tiller percentage	$D_{325}$	85.00 c	91.33 ab	93.67 a	89.33 b	83.33 c	88.53 a
	$D_{375}$	83.67 b	89.33 a	90.00 a	91.00 a	80.33 b	86.87 a
	$D_{425}$	83.33 b	86.00 ab	90.00 a	87.00 ab	66.00 c	82.47 b
	平均 Average	84.00 b	88.89 a	91.22 a	89.11 a	76.56 c	
穗粒数/(粒/穗) Grains per spike	$D_{325}$	15.75 b	16.50 ab	16.22 ab	17.67 ab	18.80 a	16.99 a
	$D_{375}$	15.60 b	16.19 b	18.13 ab	20.15 a	15.74 b	17.16 a
	$D_{425}$	15.64 b	17.20 b	14.92 b	15.90 b	22.80 a	17.29 a
	平均 Average	15.66 c	16.63 bc	16.42 bc	17.90 ab	19.11 a	
结实率/% Ripening rate	$D_{325}$	92.25 b	90.75 b	95.88 a	97.75 a	96.38 a	0.95 a
	$D_{375}$	92.87 b	94.38 b	93.50 b	98.50 b	98.63 a	0.96 a
	$D_{425}$	95.75 a	96.38 a	97.37 a	97.25 a	98.88 a	0.97 a
	平均 Average	93.62 b	93.83 b	95.58 ab	97.83 a	97.96 a	
穗长/cm Spike length	$D_{325}$	5.91 c	6.28 bc	6.70 ab	7.11 a	6.95 a	6.59 a
	$D_{375}$	6.13 c	6.29 c	6.84 bc	7.61 a	7.22 ab	6.82 a
	$D_{425}$	6.37 b	6.70 ab	6.64 ab	6.44 b	7.27 a	6.68 a
	平均 Average	6.14 c	6.42 bc	6.73 ab	7.05 a	7.14 a	
千粒重/g 1000-grain weight	$D_{325}$	43.39 c	46.35 b	46.49 b	46.60 b	49.84 a	46.53 a
	$D_{375}$	45.36 b	45.52 ab	47.80 ab	48.36 a	46.37 ab	46.68 a
	$D_{425}$	42.69 b	44.64 ab	45.90 a	47.30 a	45.81 a	45.27 a
	平均 Average	43.81 b	45.50 ab	46.73 a	47.42 a	47.34 a	
产量/kg Yield	$D_{325}$	2 513.0 b	2 818.5 b	3 342.5 ab	3 477.5 ab	4 044.0 a	3 239.1 a
	$D_{375}$	3 245.0 b	3 708.5 ab	3 786.0 ab	4 448.5 a	4 233.0 ab	3 884.2 a
	$D_{425}$	2 381.5 c	3 080.0 bc	3 352.5 abc	4 065.0 ab	4 373.5 a	3 450.5 a
	平均 Average	2 713.2 c	3 293.2 bc	3 402.8 bc	3 997.0 ab	4 216.8 a	

密度和施氮量的互作仅对成穗率和穗粒数有显著影响,对其余指标影响均不显著。其中,  $D_{325}$  和  $D_{425}$  处理下,成穗率在  $N_{150}$  下达到最大,穗粒数在  $N_{300}$  下最大;而  $D_{375}$  处理下,成穗率和穗粒数均在  $N_{225}$  下达到最大,与  $N_0$  相比差异显著。

**2.2.1 不同施氮量下产量与产量构成因素间的相关性分析**

在不同施氮量处理,计算产量构成因子与产

量的相关系数可知(表 4),随着施氮量的增大,除成穗率外,其余指标均与产量呈极显著正相关。从性状之间相关分析可知,结实率与成穗数、穗粒数、千粒重呈显著正相关,与穗长成极显著正相关;穗长与穗粒数呈显著正相关,与成穗数、千粒重极显著正相关;千粒重与成穗数呈极显著正相关。说明增加施氮量,产量构成因子均同时提高,进而提高产量。

**表 4 产量与产量构成因素的简单相关系数**

Table 4 Simple correlation coefficient of yield components and yield

指标 Index	成穗数( $X_1$ ) Spike number	成穗率( $X_2$ ) Ear bearing tiller percentage	穗粒数( $X_3$ ) Grains per spike	结实率( $X_4$ ) Ripening rate	穗长( $X_5$ ) Spike length	千粒重( $X_6$ ) 1 000-grain weight
成穗率( $X_2$ ) Ear bearing tiller percentage	0.03					
穗粒数( $X_3$ ) Grains per spike	0.79	-0.58				
结实率( $X_4$ ) Ripening rate	0.87*	-0.34	0.89*			
穗长( $X_5$ ) Spike length	0.94**	-0.26	0.91*	0.97**		
千粒重( $X_6$ ) 1 000-grain weight	0.98**	-0.04	0.81	0.90*	0.97**	
产量(Y) Yield	0.93**	-0.34	0.96**	0.94**	0.98**	0.94**

注: \* 表示在 0.05 水平上显著, \*\* 表示在 0.01 水平上极显著。

Note: \* Indicate significant difference at the 0.05 level, \*\* indicate significant difference at the 0.01 level.

通过逐步回归分析,可知成穗数( $X_1$ )、穗粒数( $X_3$ )、穗长( $X_5$ )与产量(Y)呈极显著正相关,且  $X_1$ 、 $X_3$ 、 $X_5$  与 Y 的偏回归系数也均达到了显著水平(表 5),可建立回归方程: $Y = -3\ 349.41 + 4.98 X_1 + 239.36 X_3 + 188.90 X_5$ 。这表明增加施氮量,主要是影响成穗数( $X_1$ )、穗粒数( $X_3$ )、穗长( $X_5$ )等 3 个产量构成因素,进而提高产量。籽粒产量(Y)与种植密度( $X_7$ )、施氮量( $X_8$ )的逐步回归方程: $Y =$

$12.627 + 0.007 X_2$ ,籽粒粗蛋白含量( $Y_1$ )与种植密度( $X_7$ )、施氮量( $X_8$ )的回归方程为: $Y_1 = -27\ 161.600 + 161.645 X_7 - 0.216 X_7^2 - 0.003 X_8^2 + 0.015 X_7 \times X_8$ ,籽粒粗蛋白含量( $Y_1$ )不超过 13.5 % 时,符合啤酒酿造的要求。综合考虑各项指标,当种植密度为 385 万株/hm<sup>2</sup>、施氮量为 124.71 kg/hm<sup>2</sup> 时,既能增加甘啤 4 号的产量,又能保证其酿造品质达到最佳。

**表 5 产量与产量构成因素的偏相关系数**

Table 5 The partial correlation coefficient of yield components and yield

项目 Index	偏相关系数 Partial correlation coefficient	t 检验值 t-value test	P 值 P value
$r(y, X_1)$	0.999 5	31.990 4	0.001 0
$r(y, X_3)$	0.999 9	58.809 0	0.000 3
$r(y, X_5)$	0.991 9	7.830 3	0.015 9

### 2.3 施氮量对不同种植密度下大麦品质的影响

方差分析表明(表6),种植密度对大麦籽粒的粗蛋白与淀粉含量和含水量均无显著性影响。施氮

量对蛋白质和淀粉含量影响显著,对含水量的影响不显著。种植密度和施氮量的互作对上述品质性状的影响也均不显著。

表6 施氮量对不同种植密度下大麦籽粒蛋白质及其组分含量的方差分析

Table 6 Analysis of variance model of N application rate on grain protein and protein components content of malt barley at different planting density

变异来源 Variation sources	df	蛋白质含量 Protein content			淀粉含量 Starch content			含水量 Water content		
		SS	MS	F	SS	MS	F	SS	MS	F
		密度(D) Density	2	0.080 2	0.040 1	0.014	1.033 3	0.516 7	0.279	0.006 5
施氮(N) Nitrogen application	4	23.217 0	5.804 3	5.577*	14.454 0	3.613 5	6.221*	0.062 1	0.015 5	1.372
施氮×密度 D×N	8	7.401 9	0.925 2	0.889	4.501 3	0.562 7	0.969	0.042 6	0.005 3	0.471

由施氮量副处理 SSR 分析表明(表7),随着施氮量的增加,蛋白质含量显著提高,且表现为极显著正相关( $R=0.99^{**}$ ),变异系数为5.89%; $N_{225}$ 水平下与对照相比差异显著,比 $N_0$ 高12.53%;而淀粉

含量与施氮量呈极显著负相关( $R=-0.99^{**}$ ),变异系数为1.13%;在 $N_0 \sim N_{75}$ 差异不显著, $N_{150} \sim N_{300}$ 差异达显著水平。

表7 施氮量对不同种植密度下副处理间大麦籽粒蛋白质及其组分的影响

Table 7 Effect of N application rate between pair treatment on grain protein and protein components content of malt barley at different planting density

施氮量 N application rate	蛋白质含量 Protein content	淀粉含量 Starch content	含水量 Water content
$N_0$	12.69 c	57.27 a	10.02 a
$N_{75}$	13.13 c	56.90 a	10.00 a
$N_{150}$	13.42 bc	56.67 ab	10.04 a
$N_{225}$	14.28 ab	56.02 bc	10.04 a
$N_{300}$	14.62 a	55.72 c	9.94 a

## 3 讨论

种植密度和施氮量是影响大麦生长发育、产量和品质的重要栽培措施之一。郭天荣等<sup>[16]</sup>研究表明,不同施氮水平,大麦植株茎、叶中氮磷钾养分含量均随着生育时期的推进逐渐减少;而穗吸收的全氮和全钾含量,在抽穗期和成熟期,随生育时期的推进逐渐增加,在灌浆期则反之。而刘双全等<sup>[18]</sup>研究表明,穗中氮磷钾养分含量变化没有规律性。沈会

权等<sup>[8]</sup>也认为,施用氮肥可显著提高不同时期茎秆氮含量,与刘桃菊等<sup>[9]</sup>研究基本一致。蔡剑等<sup>[19]</sup>研究表明,0~225 kg/hm<sup>2</sup>施氮量,大麦叶片叶绿素相对含量(SPAD)随着施氮量的增加而提高,施氮量再增加,又呈下降趋势。本研究表明,增加施氮量能显著提高植株含氮量,并能有效减缓大麦开花0~20 d旗叶叶绿素的降解,这和前人<sup>[8-9,16,19]</sup>研究基本一致。

密度与施氮量对大麦产量和产量构成的影响显



著。王颢等<sup>[5]</sup>研究表明,在一定种植密度范围内,啤酒大麦产量随密度的增加而提高,超过一定密度范围产量反而下降。徐大勇等<sup>[6]</sup>研究表明,增施氮肥能更好地促进群体分蘖,从而实现高产。张想平等<sup>[3]</sup>研究表明,种植密度在300~900万株/hm<sup>2</sup>时,产量影响不显著,但随种植密度加大,主穗粒重、单穗粒数等性状均呈现降低趋势。徐寿军等<sup>[17]</sup>研究表明,随着施氮量的增加,大麦产量、单位面积有效穗数和每穗粒数均增加,而千粒重下降,且最高产量的最佳施氮量为212.42~261.97 kg/hm<sup>2</sup>。本研究表明,种植密度仅对成穗率影响显著,呈负相关;随着施氮量增加,穗长、穗粒数、结实率和产量均表现为显著增加趋势,而成穗数、成穗率和千粒重随施氮量增加先升高后降低;通过逐步回归分析,选出了成穗数( $X_1$ )、穗粒数( $X_3$ )、穗长( $X_5$ )是对产量( $Y$ )影响极显著地变量,且均表现为极显著正相关,最优线性回归方程为: $Y = -3\ 349.41 + 4.98 X_1 + 239.36 X_3 + 188.90 X_5$ 。说明增加施氮量,主要是影响成穗数( $X_1$ )、穗粒数( $X_3$ )、穗长( $X_5$ )等3个产量构成因素,进而提高产量。籽粒产量( $Y$ )与种植密度( $X_7$ )、施氮量( $X_8$ )可建立逐步回归方程: $Y = 12.627 + 0.007 X_8$ ,籽粒粗蛋白含量( $Y_1$ )与种植密度( $X_7$ )、施氮量( $X_8$ )可建立回归方程: $Y_1 = -27\ 161.600 + 161.645 X_7 - 0.216 X_7^2 - 0.003 X_8^2 + 0.015 X_7 \times X_8$ ,籽粒粗蛋白含量( $Y_1$ )不超过13.5%时,符合啤酒酿造的要求<sup>[3]</sup>。综合考虑各项指标,当种植密度为385万株/hm<sup>2</sup>、施氮量为124.71 kg/hm<sup>2</sup>时,既能使产量最高,又能保证品质最佳。

王颢等<sup>[5]</sup>研究表明,籽粒蛋白质含量随播种量的增加而下降,播量为播量150万株/hm<sup>2</sup>时籽粒蛋白质含量最高。许峰等<sup>[10]</sup>、申玉香等<sup>[11]</sup>研究表明,蛋白质含量随施氮量的增加而明显提高。在大麦开花期之后增施氮肥,则籽粒中蛋白质含量较前期增施氮肥上升的幅度大,这和张国平等<sup>[13]</sup>的研究基本一致,赵檀方等<sup>[12]</sup>研究表明,当施氮量不超过150 kg/hm<sup>2</sup>时,不同施氮量处理间籽粒差异不显著,而当施氮量上升到225 kg/hm<sup>2</sup>时,各处理之间蛋白质含量差异显著。本研究表明,种植密度对籽粒粗蛋白、淀粉无显著影响。施氮量对蛋白质和淀粉有显著影响。随着施氮量的增加,籽粒蛋白质含量显著增高,而淀粉与施氮量呈极显著负相关。种植密度和施氮量的互作对株高、茎秆直径、成穗率和

穗粒数有显著影响,种植密度和施氮量的互作仅对株高、茎秆直径、成穗率和穗粒数有显著影响,且D<sub>375</sub>处理大麦株高和茎秆直径受施氮量影响最小。D<sub>325</sub>和D<sub>425</sub>处理下,成穗率在N<sub>150</sub>下达到最大,穗粒数在N<sub>300</sub>下最大;而D<sub>375</sub>处理下,成穗率和穗粒数均在N<sub>225</sub>下达到最大,与N<sub>0</sub>相比差异显著。

## 参 考 文 献

- [1] 卢良恕. 中国大麦学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995  
Lu L S. *Chinese Barley* [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1995 (in Chinese)
- [2] 董双全, 席北风, 谿家喜, 靳以军. 影响啤用大麦品质因素分析 [J]. 大麦与谷类科学, 2006, 3(1): 7-9  
Dong S Q, Xi B F, Di J X, Jin Y J. The analysis for the affect factor about quality of beer barley [J]. *Barley and Cereal Sciences*, 2006, 3(1): 7-9 (in Chinese)
- [3] 张想平, 牛小霞, 钱永康, 李润喜. 种植密度对酿造专用大麦原麦品质的影响 [J]. 中国酿造, 2012, 31(7): 137-139  
Zhang X P, Niu X X, Qian Y K, Li R X. Effect of planting density on the quality of row special barley for brewing [J]. *China Brewing*, 2012, 31(7): 137-139 (in Chinese)
- [4] Grant C A, Gauer L E, Gehl D T. Protein production and nitrogen utilization by barley in response to nitrogen fertilization under varying moisture conditions [J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 1991, 71(5): 997-1009
- [5] 王颢, 潘永东, 包奇军, 姚元虎, 胡生海. 啤酒大麦种植密度对产量品质的影 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37(24): 11480-11481  
Wang H, Pan Y D, Bao Q J, Yao Y H, Hu S H. Study on the effect of planting density of malting barley on its yield and quality [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(24): 11480-11481 (in Chinese)
- [6] 徐大勇, 王礼焦, 孙承军, 陈茂仁. 啤酒大麦主要品质性状的遗传分析 [J]. 江苏农业学报, 1994, 10(4): 48-53  
Xu D Y, Wang L J, Sun C J, Chen M R. Malting barley genetic analysis of the main quality traits [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 1994, 10(4): 48-53 (in Chinese)
- [7] 董鲁浩, 李玉义, 逢焕成, 孙庆泉. 不同土壤类型下长期施肥对土壤养分与小麦产量影响的比较研究 [J]. 中国农业大学学报, 2010, 15(3): 22-28  
Dong L H, Li Y Y, Feng H C, Sun Q Q. Comparison of the effect of long-term application application on soil nutrients and wheat yield under different soil types [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2010, 15(3): 22-28 (in Chinese)
- [8] 沈会权, 栾海业, 陈和, 陈健, 陶红, 乔海龙, 臧慧. 施氮水平对啤酒大麦氮素吸收、转运及籽粒蛋白质含量的影响 [J]. 江苏农业学报, 2013, 29(5): 1034-1038  
Shen H Q, Luan H Y, Chen H, Chen J, Tao H, Qiao H L, Zang H. Effects of nitrogen application rates on nitrogen uptake and

- transformation and grain protein content in malting barley[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2013, 29(5): 1034-1038 (in Chinese)
- [9] 刘桃菊,唐建军,张东营,罗真,江绍琳,徐丰华. 施氮量对大麦干物质生产及氮素吸收利用效率的影响[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(35): 20060-20062
- Liu T J, Tang J J, Zhang D Y, Luo Z, Jiang S L, Xu F H. Effect of nitrogen application on dry matter production, N-absorption and N-utilization rate of barley [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38 (35): 20060-20062 (in Chinese)
- [10] 许峰,王亦勤,罗来君,王德颖. 氮肥对啤酒大麦蛋白质含量及产量的影响 [J]. *大麦科学*, 2003(3): 32-35
- Xu F, Wang Y Q, Luo L J, Wang D Y. Nitrogen application effects on beer barley protein content and yield [J]. *Barley Science*, 2003(3): 32-35 (in Chinese)
- [11] 申玉香,赵德才,陶红. 啤酒大麦精播高产的苗密度与施氮量协同效应及其优化配置[J]. *大麦科学*, 1999(1): 30-32
- Shen Y X, Zhao D C, Tao H. Beer barley pearling of seedling density and N application rate of the high yield synergies and optimized configuration [J]. *Barley Science*, 1999 (1): 30-32 (in Chinese)
- [12] 赵檀方. 不同栽培因素对啤酒大麦籽粒产量和品质的影响 [J]. *山东农业大学学报*, 1990, 21(4): 41-46, 52
- Zhao T F. Different cultural factors affect beer barley grain yield and quality [J]. *Journal of Shandong Agricultural University*, 1990, 21(4): 41-46, 52 (in Chinese)
- [13] 张国平. 钾素对小麦氮代谢与产量的影响[J]. *浙江农业大学学报*, 1985, 11(4): 463-472
- Zhang G P. Potassium effects on wheat yield and nitrogen metabolism [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 1985, 11(4): 463-472 (in Chinese)
- [14] 冯冬霞,施生锦. 叶面积测定方法的研究效果初报[J]. *中国农学通报*, 2005, 21(6): 150-152, 155
- Feng D X, Shi S J. At the beginning of the research results of determination method of leaf area at [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(6): 150-152, 155 (in Chinese)
- [15] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000
- Li H S. *Principles and Techniques for Plant Physiology and Biochemistry Experiment* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000 (in Chinese)
- [16] 郭天荣,弭忠祥,张艳华. 铝、镉、铜互作对大麦生长发育及养分吸收的影响 [J]. *麦类作物学报*, 2008, 28(1): 134-139
- Guo T R, Mi Z X, Zhang Yan H. Growth, development and nutrient absorption in barley plants under combined toxicity of aluminum, copper and cadmium [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2008, 28(1): 134-139 (in Chinese)
- [17] 徐寿军,刘志萍,张凤英,杨恒山,许如根,庄恒扬. 氮肥水平对冬大麦产量、品质和氮肥利用效率的影响及其相关分析 [J]. *扬州大学学报: 农业与生命科学版*, 2012, 33(1): 66-71
- Xu S J, Liu Z P, Zhang F Y, Yang H S, Xu R G, Zhuang H Y. Effect of nitrogen application rate on yield, quality and application-nitrogen use efficiency and its correlation analysis in winter barley [J]. *Journal of Yangzhou University: Agricultural and Life Science Edition*, 2012, 33(1): 66-71 (in Chinese)
- [18] 刘双全,李玉影,姬景红,佟玉欣,刘晓莉,徐猛. 不同施氮水平和方式对大麦养分吸收特性及产量的影响 [J]. *黑龙江农业科学*, 2012(12): 30-33
- Liu S Q, Li Y Y, Ji Y H, Tong Y X, Liu X L, Xu M. Effects of different nitrogen levels and pattern on nutrient uptake characteristics and yield [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2012(12): 30-33 (in Chinese)
- [19] 蔡剑,邹薇,陈和,沈会权,戴廷波,荆奇,曹卫星,姜东. 施氮水平对啤酒大麦叶片光合 SPAD 和叶绿素荧光特性的影响 [J]. *麦类作物学报*, 2007, 27(1): 97-101, 171
- Cai J, Zou W, Chen H, Shen H Q, Dai T B, Jing Q, Cao W X, Jiang D. Effects of different nitrogen levels on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence of leaves in malting barley [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2007, 27(1): 97-101, 171 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅