

# 干旱胁迫对苦荞农艺性状及黄酮类物质含量的影响

欧阳建勇<sup>1,2</sup>, 万燕<sup>1,2\*</sup>, 向达兵<sup>1,2</sup>, 马成瑞<sup>1,2</sup>, 刘敏<sup>1</sup>, 谭茂玲<sup>1,2</sup>, 陈智慧<sup>1</sup>, 赵钢<sup>1,2</sup>

(1. 成都大学药学与生物工程学院, 四川成都 610106; 2. 农业农村部国家杂粮加工重点实验室, 四川成都 610106)

**摘要** 以川荞1号和晋荞2号为材料, 设置自然干旱胁迫处理, 分别在7、14 d 取样测定川荞1号和晋荞2号农艺性状以及叶片、根系、籽粒中总黄酮、芦丁、槲皮素含量。结果表明, 干旱胁迫7 d 时, 2种苦荞的茎粗、株高、叶片数、根体积、晋荞2号的根长和侧根数均显著降低, 2种苦荞的茎节数、川荞1号的根长和侧根数均无显著性差异。干旱胁迫14 d 时, 2种苦荞的株高、叶片数、根体积、晋荞2号茎粗、节数、根长均显著降低, 2种苦荞的侧根数、川荞1号茎粗、节数、根长均无显著性差异。干旱胁迫7、14 d 时, 2种苦荞叶中总黄酮、芦丁、槲皮素含量均降低; 根、籽粒中总黄酮、芦丁、槲皮素含量均升高。其中, 干旱胁迫7 d 时, 晋荞2号籽粒中总黄酮和芦丁含量均显著升高。

**关键词** 苦荞; 干旱胁迫; 农艺性状; 黄酮

**中图分类号** S517 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2020)16-0035-04

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.16.008



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Effects of Drought Stress on Agronomic Traits and Flavonoid Compound Contents of Tartary Buckwheat

OUYANG Jian-yong<sup>1,2</sup>, WAN Yan<sup>1,2</sup>, XIANG Da-bing<sup>1,2</sup> et al (1. College of Pharmacy and Biological Engineering, Chengdu University, Chengdu, Sichuan 610106; 2. Key Laboratory of Coarse Cereals Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chengdu, Sichuan 610106)

**Abstract** Chuanqiao 1 and Jinqiao 2 were treated with drought stress. The agronomic characters of Chuanqiao 1 and Jinqiao 2 and the contents of total flavonoids, rutin and quercetin in leaves, roots and grains were determined by sampling on 7 and 14 days, respectively. The results showed that under drought stress for 7 d, the stem diameter, plant height, leaf number, root volume, root length and lateral root number of Jinqiao 2 decreased significantly, but the number of stem nodes, root length and lateral root number of Chuanqiao 1 were not significantly different between the two kinds of Tartary buckwheat. Under drought stress for 14 d, the plant height, leaf number and root volume of the two Tartary buckwheat species were studied. The number of root and root of 2 kinds of Tartary buckwheat was not significant, and the number of lateral roots of two kinds of Tartary buckwheat was not significant. After drought stress for 7 and 14 d, the contents of total flavonoids, rutin and quercetin in the leaves of two kinds of Tartary buckwheat decreased, while the contents of total flavonoids, rutin and quercetin in roots and grains increased. The contents of total flavonoids and rutin in Jinqiao 2 grain were significantly increased.

**Key words** Tartary buckwheat; Drought stress; Agronomic traits; Flavonoids

随着人口的快速增长, 水资源短缺现象日益严重, 干旱已经成为一个全球性问题<sup>[1]</sup>。干旱是影响作物产量最大的因素, 在我国干旱造成的损失超过了其他所有环境因子的总和, 干旱已经成为制约我国农业生产与发展的重要因素<sup>[2-3]</sup>。苦荞作为“五谷之王”“三降食品”, 近年来苦荞及其制品深受人们青睐, 市场需求日益增大<sup>[4]</sup>。苦荞是弱根系作物, 其主产区位于旱作农业区和高寒山区, 这些地区降雨量少、土地易干旱、缺乏水资源, 苦荞种植过程中不可避免地受到干旱胁迫, 影响苦荞的正常生长和品质<sup>[5-6]</sup>。因此, 了解自然干旱胁迫对苦荞农艺性状及根系、叶片、籽粒中黄酮类化合物的影响, 对因地制宜选取不同苦荞品种来提高经济效益提供理论依据和技术支撑具有重要意义。

干旱通过抑制苦荞细胞的生长和分化, 导致顶端分生组织和侧生分生组织生长缓慢, 从而影响苦荞农艺性状<sup>[7]</sup>。干旱胁迫后影响玉米穗的大小, 减少穗粒数; 干旱程度越高, 玉米的农艺性状受到的负面影响就越大<sup>[8]</sup>。轻度干旱对小麦的根系影响较小, 重度干旱能明显降低小麦次生根的生

长<sup>[9]</sup>。轻度干旱和重度干旱都显著降低大豆株高, 增加大豆茎粗<sup>[10]</sup>。研究表明, 虽然苗期水分亏缺能抑制植株茎叶生长, 但能促进根系生长, 复水后, 发达的根系有利于作物吸收水分和营养物质, 促进作物健壮生长<sup>[11-12]</sup>。邹序安等<sup>[13]</sup>、常敬礼等<sup>[14]</sup>从微观角度揭示水分胁迫对玉米产生的危害、造成减产的原因, 指出水分胁迫对作物产生的负面效应与干旱胁迫的强度和作物所处发育期有关。在受到干旱胁迫时, 苦荞会产生大量活性氧, 导致代谢紊乱<sup>[15]</sup>。黄酮属于苦荞体内产生的次生代谢产物, 抗氧化活性很高, 具有清除活性氧自由基的功能, 进而减弱活性氧自由基对苦荞造成的伤害<sup>[16]</sup>。同时富含黄酮类化合物的产品同样对人体有着清除自由基、抗氧化、抗突变等作用<sup>[17]</sup>。前人关于苦荞不同生育时期主要器官的黄酮含量变化以及影响苦荞籽粒黄酮类化合物含量因素做了大量研究<sup>[18-20]</sup>, 然而根据实际生产情况, 采用自然干旱胁迫对苦荞农艺性状和黄酮类化合物含量的影响的研究较少。鉴于此, 笔者以川荞1号和晋荞2号2个苦荞品种为研究对象, 分析结实期自然干旱胁迫条件下川荞1号和晋荞2号种植株形态的变化和根系、叶片、籽粒中总黄酮、芦丁、槲皮素的含量, 研究水分对苦荞植株形态及黄酮类物质含量的影响, 为苦荞生产过程中根据实际干旱情况选取不同的品种和具体栽培措施提供理论基础和技术支撑。

## 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 试验材料选用推广品种川荞1号和晋荞2

**基金项目** 国家自然科学基金项目(31601260); 四川省科技厅应用基础项目(2016JY0209); 现代农业产业技术体系(CARS-08-02A); 四川省教育厅项目(15ZB0377)。

**作者简介** 欧阳建勇(1995—), 男, 四川绵阳人, 硕士, 从事荞麦栽培生理研究。\* 通信作者, 副教授, 博士, 从事苦荞栽培生理研究。

**收稿日期** 2019-11-13

号,分别由四川凉山彝族自治州昭觉农业科学研究所和山西省农业科学院小杂粮研究中心提供。

**1.2 试验设计** 试验于2018年9—12月在成都大学校干旱棚内进行。盆栽种植,盆子规格为直径33.5 cm,盆高31.0 cm。每盆装风干土15 kg,土壤采用砂质土壤,经风干、过筛去杂后装盆,用水沉实。常规育苗,每盆留4~5株,土壤相对含水量保持在(80±2)%,在苦荞结实期,先浇透水后停止浇水,自然干旱7 d(T1处理)、14 d(T2处理)时分别取样。试验采用2因素2水平随机区组设计,因素1为苦荞品种,A1为川荞1号,A2为晋荞2号;因素2为自然干旱,CK为正常供水(Well watered),D为自然干旱(Progressive soil drying, low water)。各处理种植36盆,共144盆。

1.3 指标测定

**1.3.1 农艺性状的测定。**取样方式:苦荞每处理随机取样15株调查苦荞的农艺性状指标,包括主根长、茎粗、根体积、侧根数、株高、主茎分枝、主茎节数。测定各部位鲜重后在105℃杀青30 min,然后于80℃的烘箱内烘干至恒重,取出

冷却后测干物重。  
**1.3.2 黄酮的提取与测定。**提取方法:将材料进行干燥,研磨成细粉,取适量的样品,用70%甲醇15 mL提取,于60℃恒温振荡2 h,然后过滤,取清液备用。总黄酮含量的测定参考吕丹等<sup>[21]</sup>方法。

**1.4 数据分析与处理** 采用Excel 2003和DPS 15.1软件进行数据处理、绘图和统计分析。

2 结果与分析

**2.1 干旱胁迫对苦荞农艺性状的影响** 由表1可知,T1取样时间下,与CK相比,D处理A1品种茎粗、株高、叶片数、根体积均显著降低,节数、根长、侧根数均无显著性差异;A2品种茎粗、株高、叶片数、根体积、根长、侧根数均显著降低,节数无显著性差异。T2取样时间下,与CK相比,D处理A1品种株高、叶片数、根体积均显著降低,茎粗、节数、根长、侧根数均无显著性差异;A2品种茎粗、株高、节数、叶片数、根体积、根长、侧根数均显著降低。

表 1 不同干旱胁迫时间对苦荞农艺性状的影响  
Table 1 Effects of different drought stress time on agronomic characters of buckwheat

| 取样时间<br>Sampling time | 品种<br>Variety | 胁迫处理<br>Stress time | 茎粗<br>Stem diameter<br>cm | 株高<br>Plant height<br>cm | 节数<br>Node number<br>个/株 | 叶片数<br>Leaf number<br>片/株 | 根体积<br>Root volume<br>mL | 根长<br>Root length<br>cm | 侧根数<br>Lateral root number<br>根/株 |
|-----------------------|---------------|---------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| T1                    | A1            | CK                  | 3.90 ab                   | 33.48 a                  | 10.12 abc                | 46.13 a                   | 0.46 a                   | 9.99 a                  | 21.57 ab                          |
|                       |               | D                   | 3.38 c                    | 24.79 c                  | 9.79 bcd                 | 35.12 bc                  | 0.23 b                   | 10.46 a                 | 20.46 b                           |
|                       | A2            | CK                  | 4.28 a                    | 34.06 a                  | 10.10 bcd                | 31.35 c                   | 0.59 a                   | 9.48 a                  | 25.78 a                           |
|                       |               | D                   | 3.33 c                    | 20.57 d                  | 8.11 cd                  | 20.12 d                   | 0.29 b                   | 8.88 bc                 | 18.60 b                           |
| T2                    | A1            | CK                  | 3.67 bc                   | 29.29 b                  | 10.32 ab                 | 50.55 a                   | 0.53 a                   | 11.04 a                 | 20.79 b                           |
|                       |               | D                   | 3.71 bc                   | 20.86 cd                 | 9.78 bcd                 | 36.45 bc                  | 0.28 b                   | 9.48 a                  | 19.49 b                           |
|                       | A2            | CK                  | 4.02 ab                   | 35.17 a                  | 11.10 a                  | 42.34 ab                  | 0.54 a                   | 9.47 a                  | 23.36 a                           |
|                       |               | D                   | 3.37 c                    | 21.16 cd                 | 8.12 cd                  | 22.22 d                   | 0.30 b                   | 6.40 b                  | 20.58 b                           |

注:同列不同小写字母表示在0.05水平差异显著  
Note: Different lowercases in the same column indicated significant difference at 0.05 level

表 2 不同干旱胁迫时间对苦荞各器官总黄酮含量的影响  
Table 2 Effects of different drought stress time on total flavonoids content in organs of buckwheat

| 取样时间<br>Sampling time | 品种<br>Variety | 胁迫处理<br>Stress treatment | 根<br>Root | 叶<br>Leaf | 籽粒<br>Seed |
|-----------------------|---------------|--------------------------|-----------|-----------|------------|
| T1                    | A1            | CK                       | 1.58 b    | 21.00 c   | 28.23 bc   |
|                       |               | D                        | 3.78 a    | 22.45 c   | 29.13 bc   |
|                       | A2            | CK                       | 0.85 e    | 27.02 a   | 35.40 ab   |
|                       |               | D                        | 1.01 de   | 22.14 c   | 43.63 d    |
| T2                    | A1            | CK                       | 1.18 cd   | 26.88 a   | 25.09 bc   |
|                       |               | D                        | 1.33 bc   | 24.00 bc  | 25.29 bc   |
|                       | A2            | CK                       | 1.15 cd   | 25.57 ab  | 22.61 c    |
|                       |               | D                        | 1.40 bc   | 23.29 bc  | 30.14 bc   |

注:同列不同小写字母表示在0.05水平差异显著  
Note: Different lowercases in the same column indicated significant difference at 0.05 level

**2.2 干旱胁迫对苦荞总黄酮含量的影响** T1取样时间下,与CK处理相比,D处理A1品种根中总黄酮含量显著升高,A2品种无显著差异;A1品种叶中总黄酮含量无显著性差异,A2品种显著降低;A1品种籽粒中总黄酮含量无显著性差异,A2品种显著升高。T2取样时间下,与CK处理相比,D处理A1、A2品种中根、籽粒总黄酮含量无显著性差异;A1品种叶中总黄酮含量无显著性差异,A2品种显著降低。  
**2.3 干旱胁迫对苦荞芦丁含量的影响** T1取样时间下,与CK处理相比,D处理A1、A2品种根中芦丁含量显著升高;A1品种叶中芦丁含量无显著性差异,A2品种显著降低;A1品种籽粒中芦丁含量无显著性差异,A2品种显著升高。T2取样时间下,与CK处理相比,D处理A1品种根中芦丁含量无显著性差异,A2品种显著升高;A1、A2品种中叶、籽粒芦丁含量均无显著性差异。

表 3 不同干旱胁迫时间对苦荞各器官芦丁含量的影响

Table 3 Effects of different drought stress time on rutin content in organs of buckwheat

mg/g

| 取样时间<br>Sampling time | 品种<br>Variety | 胁迫处理<br>Stress treatment | 根<br>Root | 叶<br>Leaf | 籽粒<br>Seed |
|-----------------------|---------------|--------------------------|-----------|-----------|------------|
| T1                    | A1            | CK                       | 0.49 bc   | 11.55 ab  | 13.48 bcd  |
|                       |               | D                        | 1.59 a    | 10.22 ab  | 13.71 bc   |
|                       | A2            | CK                       | 0.34 c    | 10.91 a   | 16.29 b    |
|                       |               | D                        | 0.76 b    | 7.90 b    | 23.29 a    |
| T2                    | A1            | CK                       | 0.38 c    | 13.53 ab  | 10.60 cd   |
|                       |               | D                        | 0.58 bc   | 12.05 a   | 11.70 bcd  |
|                       | A2            | CK                       | 0.37 c    | 13.95 ab  | 8.94 d     |
|                       |               | D                        | 0.73 b    | 12.04 a   | 13.02 bcd  |

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著  
Note: Different lowercases in the same column indicated significant difference at 0.05 level

2.4 干旱胁迫对苦荞槲皮素含量的影响 T1 取样时间下,与 CK 相比,D 处理 A1 品种根中槲皮素含量显著升高,A2 品种无显著性差异;A1 品种叶中无显著性差异,A2 品种显著降低;A1、A2 品种中籽粒槲皮素含量均无显著性差异。T2 取样时间下,与 CK 处理相比,D 处理 A1、A2 品种根中槲皮素含量均显著升高;A1、A2 品种叶中槲皮素含量均显著降低;A1、A2 品种籽粒中槲皮素含量均无显著性差异。

表 4 不同干旱胁迫时间对苦荞各器官槲皮素含量的影响

Table 4 Effects of different drought stress time on quercetin content in organs of buckwheat

mg/g

| 取样时间<br>Sampling time | 品种<br>Variety | 胁迫处理<br>Stress treatment | 根<br>Root | 叶<br>Leaf | 籽粒<br>Seed |
|-----------------------|---------------|--------------------------|-----------|-----------|------------|
| T1                    | A1            | CK                       | 0.19 b    | 2.31 b    | 9.78 bc    |
|                       |               | D                        | 0.31 a    | 1.60 bc   | 10.12 b    |
|                       | A2            | CK                       | 0.09 c    | 6.71 a    | 17.56 a    |
|                       |               | D                        | 0.15 cd   | 2.87 b    | 17.70 a    |
| T2                    | A1            | CK                       | 0.01 d    | 2.66 b    | 5.77 c     |
|                       |               | D                        | 0.11 c    | 0.41 c    | 5.90 c     |
|                       | A2            | CK                       | 0.10 c    | 7.22 a    | 10.55 b    |
|                       |               | D                        | 0.28 a    | 0.42 c    | 10.67 b    |

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著  
Note: Different lowercases in the same column indicated significant difference at 0.05 level

3 讨论

3.1 干旱胁迫对苦荞农艺性状的影响 徐雪风等<sup>[22]</sup>研究表明,干旱不一定总是有害,适度干旱可促进苦荞各器官的生长发育并提高苦荞的品质。尹飞<sup>[23]</sup>研究表明,水分胁迫减少了单株玉米叶面积,降低了玉米的株高和茎粗。该研究结果表明,干旱胁迫会影响苦荞正常的生长发育,其中最明显的就是植株矮小和叶片数减少。安玉艳等<sup>[24]</sup>研究表明,当土壤水分在植物生长的适宜水平以上降低时,植物处于轻度干旱阶段,植物的相对生长速率降低,同时水分吸收和减少水分散失增加。王姣等<sup>[25]</sup>研究表明,随着干旱胁迫的加剧,小豆的最大根长呈先增加后减少的趋势。该研究结果表明,

干旱胁迫 14 d 对川荞 1 号的根长、侧根数均无显著影响,这可能是由于干旱胁迫导致表层土壤水分含量降低,表层根系的分布已经不能吸收足够的水分供植株正常生长,这就需要根系伸长以满足植株吸收更深层水分,其自身能够协调根冠平衡,最大程度发挥根系和地上部叶片的功能,有利于提高种植抗逆性<sup>[26]</sup>。川荞 1 号自身适应干旱能力强,能够通过自身的调节作用来主动适应干旱,说明川荞 1 号在自然干旱条件下有较强的适应性,其适应干旱机制需要进一步研究。

3.2 干旱胁迫对苦荞黄酮含量的影响 在逆境条件下,植物为保持正常的生命活动和适应恶劣的生态环境,体内会产生一些抗逆境行为<sup>[27]</sup>,如黄酮本身具有较强的抗氧化活性,黄酮类物质的累积可以增加植物对干旱胁迫的耐受性<sup>[28]</sup>。该研究结果表明,干旱胁迫导致 2 种苦荞根中总黄酮、芦丁、槲皮素含量均升高,叶中总黄酮、芦丁、槲皮素含量均降低。原因可能是当苦荞面临干旱胁迫时,根系最先感受到干旱胁迫的刺激,根系通过产生水利信号来调控叶片气孔的关闭<sup>[29]</sup>。根主要是吸收和运送矿物质等,而叶片是合成代谢的主要器官,苦荞通过增强根系的吸水和降低叶片的蒸腾失水来抵御干旱胁迫。因此干旱胁迫导致苦荞叶片中黄酮含量降低、根中黄酮含量升高<sup>[30]</sup>。干旱条件下苦荞籽粒中总黄酮、芦丁、槲皮素含量均升高,其中干旱 7 d 时晋荞 2 号籽粒总黄酮、芦丁含量均达到显著水平,这可能是由于干旱胁迫促进了总黄酮的合成,苦荞生长中心由营养生长转为生殖生长,使得总黄酮大量往籽粒中运输,干旱时间过长,影响晋荞 2 号正常生长,导致其营养供应不足,籽粒内总黄酮含量无显著性升高。因此,长时间自然干旱因浇水保证苦荞的生长以提高籽粒品质。

4 结论

干旱通过抑制苦荞细胞的生长和分化,导致顶端分生组织和侧生分生组织生长缓慢,从而影响株高、茎粗、叶片数、侧根数、茎节数、根长和根体积的生长。自然干旱 7 d 时,川荞 1 号根系中总黄酮含量比对照根系高了 58%,同时也比晋荞 2 号的根系总黄酮含量高了 275%,保证了川荞 1 号的根长、侧根数的正常生长。晋荞 2 号籽粒中总黄酮和芦丁含量显著升高,提高了籽粒的品质。自然干旱 14 d 时,川荞 1 号的根长、侧根数均正常生长,晋荞 2 号的株高、茎粗、叶片数、侧根数、茎节数、根长和根体积均显著降低。2 种苦荞籽粒中总黄酮、芦丁、槲皮素含量均升高但未达到显著水平,说明干旱能促进苦荞籽粒中总黄酮的物质积累。川荞 1 号在干旱胁迫 7 d 时,其根系具有较高总黄酮含量,保证根长和侧根数的正常生长;晋荞 2 号在干旱胁迫 7 d 时,种子具有更高的总黄酮含量。因此,应因地制宜地选择苦荞品种、长时间自然干旱因浇水保证苦荞的生长以提高籽粒品质。

参考文献

[1] 王海鸥,马琼,付士波,等.西北干旱半干旱区耕地面积变化与人口、经济发展的相关关系研究:以甘肃省为例[J].干旱区资源与环境,2011,25(1):74-79.

[2] 马廷臣,余蓉蓉,陈荣军,等.PEG-6000 模拟干旱对水稻苗期根系形态和部分生理指标影响的研究[J].中国农学通报,2010,26(8):149-156.

[3] 陈方藻,刘江,李茂松.60 年来中国农业干旱时空演替规律研究[J].西

- 南师范大学学报(自然科学版),2011,36(4):111-114.
- [4] ZHAO G,ZHAO J L,PENG L X, et al.Effects of yeast polysaccharide on growth and flavonoid accumulation in *Fagopyrum tataricum* sprout cultures[J].Molecules,2012,17(10):11335-11345.
  - [5] 向达兵,彭镡心,赵钢,等.荞麦栽培研究进展[J].作物杂志,2013(3):1-6.
  - [6] 张益锋.金荞麦和荞麦对增强 UV-B 辐射及干旱胁迫的生理生态响应[D].重庆:西南大学,2010.
  - [7] 谭茂玲,廖爽,万燕,等.干旱胁迫对苦荞麦农艺性状、产量和品质的影响[J].西南师范大学学报(自然科学版),2015,40(10):88-93.
  - [8] 窦超银,于景春,于秀琴.干旱胁迫对辽西半干旱区玉米生长和产量的影响[J].灌溉排水学报,2013,32(4):84-87.
  - [9] 张伟杨,钱希昉,李银银,等.土壤干旱对小麦生理性状和产量的影响[J].麦类作物学报,2016,36(4):491-500.
  - [10] 雍太文,刘小明,肖秀喜,等.不同种子处理对苗期干旱胁迫条件下大豆农艺性状、产量及品质的影响[J].大豆科学,2013,32(5):620-624.
  - [11] 蔡娜,淡荣,陈鹏.水分胁迫对苦荞幼苗黄酮类物质含量的影响[J].西北农业学报,2008,17(4):91-93.
  - [12] 郑国保,朱金霞,张源沛,等.水分胁迫对枸杞子总黄酮的影响[J].北方园艺,2010(24):198-200.
  - [13] 邹序安,远红伟,陆引罡,等.水分胁迫对玉米生理特性及产量因子的影响[J].贵州农业科学,2009,37(8):41-43.
  - [14] 王静,杨德光,马凤鸣,等.水分胁迫对玉米叶片可溶性糖和脯氨酸含量的影响[J].玉米科学,2007,15(6):57-59.
  - [15] ZHANG J X,KIRKHAM M B.Antioxidant responses to drought in sunflower and sorghum seedlings[J].New phytologist,1996,132(3):361-373.
  - [16] OLMO M,LOPEZ-IGLESIAS B,VILLAR R.Drought changes the structure and elemental composition of very fine roots in seedlings of ten woody tree species.Implications for a drier climate[J].Plant & soil,2014,384(1/2):113-129.
  - [17] 邹亮,赵钢,周浓,等.苦荞黄酮提取与分离技术的研究进展[J].安徽农业科学,2009,37(27):13235-13237.
  - [18] LIU B G,ZHU Y Y.Extraction of flavonoids from flavonoid-rich parts in tartary buckwheat and identification of the main flavonoids[J].Journal of food engineering,2007,78(2):584-587.
  - [19] 唐宇,赵钢.荞麦中黄酮含量的研究[J].四川农业大学学报,2001,19(4):352-354.
  - [20] 侯伶俐,杨雄榜,董雪妮,等.逆境胁迫对苦荞花期总黄酮含量及关键酶基因表达的影响[J].核农学报,2016,30(1):184-192.
  - [21] 吕丹,黎瑞源,郑冉,等.苦荞种质资源籽粒黄酮含量及籽粒性状的变异分析[J/OL].分子植物育种,2019-08-13[2019-09-24].http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20190813.0824.002.html.
  - [22] 徐雪凤.干旱锻炼及连作调控对马铃薯生长发育和抗性生理的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2016.
  - [23] 尹飞.玉米对水分胁迫响应的基因型差异及其生理机制研究[D].郑州:河南农业大学,2004.
  - [24] 安玉艳,梁宗锁.植物应对干旱胁迫的阶段性策略[J].应用生态学报,2012,23(10):2907-2915.
  - [25] 王姣,张永清.干旱胁迫下不同小豆品种根系生长规律研究[J].作物杂志,2016(6):112-119.
  - [26] 关军锋,马春红,李广敏.干旱胁迫下小麦根冠生物量变化及其与抗旱性的关系[J].河北农业大学学报,2004,27(1):1-5.
  - [27] 刘丽君,林浩,唐晓飞,等.干旱胁迫对不同生育阶段大豆产量形态建成的影响[J].大豆科学,2011,30(3):405-412.
  - [28] DAT J,VANDENABEELE S,VRAVOVA E, et al.Dual action of the active oxygen species during plant stress responses[J].Cellular & molecular life sciences,2000,57(5):779-795.
  - [29] 杨雄榜.不同胁迫对不同生长期苦荞黄酮积累及其合成相关酶基因表达的影响[D].雅安:四川农业大学,2014.
  - [30] 朱友春,田世龙,王东晖,等.不同生育期苦荞黄酮含量与营养成分变化研究[J].甘肃农业科技,2010(6):24-27.

(上接第 34 页)

### 3 小结与讨论

宁麦 27 在国家冬小麦长江中下游区域试验和生产试验 3 组 45 个地点平均产量为 6 202.7 kg/hm<sup>2</sup>,其中有 6 个地点的产量超过 7 500.0 kg/hm<sup>2</sup>,表明宁麦 27 具有良好的丰产性和较高的产量潜力。宁麦 27 的产量构成因素比较协调,平均有效穗数为 449.9 万/hm<sup>2</sup>,穗粒数为 40.1 粒,千粒重为 39.5 g,特别是千粒重在不同年度间和不同产量水平下的变化幅度较小。由试验结果可知,宁麦 27 要达到高产更高产的产量水平,产量 3 因素构成应为有效穗数 480 万~495 万/hm<sup>2</sup>,穗粒数 45 粒左右,千粒重 40 g 左右。

通径分析表明,单位面积有效穗数对宁麦 27 籽粒产量的贡献最大,穗粒数次之,千粒重对籽粒产量的直接贡献相对较小,这与前人的报道基本一致<sup>[2-5]</sup>,但有些研究者认为,穗粒数对产量的作用最大,穗粒数次之<sup>[6-8]</sup>。也有千粒重对产量直接贡献最大的报道<sup>[9-10]</sup>,这可能与试验条件、特别是供试材料不同有关。从个别试点的产量结果可以看出,宁麦 27 产量偏低的主要原因如下:一是成穗数严重不足;二是穗粒数少,如在 2016—2017 年湖北省武昌试点上,宁麦 27 有效穗数仅为 314.9 万/hm<sup>2</sup>,穗粒数也偏少,导致其最终籽粒产量只

有 3 805.1 kg/hm<sup>2</sup>。因此,在宁麦 27 的大面积生产中,首先要通过适期半精量播种、肥水调控等措施,保证获得足够的有效穗数,在此基础上要进一步加强后期管理,以提高小穗、小花结实率,以增加穗粒数为主攻目标,并兼顾粒重,要充分发挥各因素间的最大效应,达到高产更高产的目的。

### 参考文献

- [1] 唐启义,唐睿. DPS 数据处理系统[M]. 4 版.北京:科学出版社,2017:529-539.
- [2] 田纪春,邓志英,胡瑞波,等.不同类型超级小麦产量构成因素及籽粒产量的通径分析[J].作物学报,2006,32(11):1699-1705.
- [3] 常绍安,苏宏智,郭昆玉.济麦 20 高产田产量结构指标与实现途径的探讨[J].河南科技学院学报(自然科学版),2008,36(4):11-14.
- [4] 周延辉,朱新开,郭文善,等.稻茬小麦中高产水平下产量及其构成因素分析[J].麦类作物学报,2018,38(3):293-297.
- [5] 范永胜,朱红彩,屈涛,等.新麦 36 高产性状及产量构成因素分析[J].安徽农业科学,2019,47(7):27-28,32.
- [6] 姚金保,陆维忠,马鸿翔,等.宁麦 20 丰产性、稳产性及产量构成因素分析[J].江西农业学报,2013,25(7):1-3.
- [7] 黄卫华,浩麦 1 号的产量构成因素分析[J].贵州农业科学,2015,43(12):12-14.
- [8] 蔡金华,陈爱大,李东升,等.‘镇麦 11 号’主要生育特征及产量构成因素分析[J].上海农业学报,2015,31(5):100-103.
- [9] 刘琨,杨和仙,李绍祥,等.温光敏两系杂交小麦云杂 5 号丰产性、稳产性及产量构成因素分析[J].西南农业学报,2008,21(5):1240-1243.
- [10] 朱红彩,黄金华,范永胜,等.河南省主推小麦品种产量及其构成因素的相互关系分析[J].浙江农业科学,2019,60(4):541-543.