

## 柑橘属膳食纤维化学组成·理化及流变学特性的研究

孟哲<sup>1</sup>, 单平阳<sup>1</sup>, 黄月<sup>1</sup>, 王磊<sup>1,2\*</sup>

(1. 唐山市食品药品检验中心, 河北唐山 063000; 2. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

**摘要** [目的]研究柑橘属膳食纤维化学组成、理化及流变学特性。[方法]以柑橘属(葡萄柚、脐橙、椪柑、柠檬和贡柑)为试验原料,比较柑橘属不同品种果皮中膳食纤维化学组成、理化和流变学特性的差异。[结果]不同柑橘品种的果皮总膳食纤维(TDF)含量为617.90~640.70 g/kg;可溶性膳食纤维(SDF)含量为128.90~140.70 g/kg,其中葡萄柚含量最高;不溶性膳食纤维(IDF)含量为471.20~503.20 g/kg,其中柠檬含量最高。葡萄柚 IDF 的持水力(WHC)、持油力(OHC)和膨胀力(SC)最高,分别为27.88 g/g、8.20 g/g和23.52 mL/g;脐橙最低,分别为17.98 g/g、3.62 g/g和15.28 mL/g。在剪切速率较低的范围内,随剪切速率的升高,不同柑橘品种果皮SDF的黏度呈下降的趋势,有剪切稀化的现象,具有假塑性,并且葡萄柚和椪柑SDF表现更高的黏度。[结论]研究结果可为柑橘属膳食纤维的综合利用提供理论依据。

**关键词** 柑橘属;膳食纤维;化学组成;理化特性;流变学

**中图分类号** TS201.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)25-0149-03

### Study on Chemical Composition, Physicochemical and Rheological Property of Dietary Fiber from Citrus

MENG Zhe, SHAN Ping-yang, HUANG Yue et al (Tangshan Food and Drug Testing Center, Tangshan, Hebei 063000)

**Abstract** [Objective] The research aimed to study the chemical composition, physicochemical and rheological properties of dietary fiber from citrus. [Method] With citrus (grapefruit, navel orange, ponkan, lemon and gonggan) as raw material, the chemical composition, physicochemical and rheological property of dietary fiber from citrus were compared. [Result] The content of total dietary fiber (TDF) in peels of different citrus varieties was 617.90–640.70 g/kg; the content of soluble dietary fiber (SDF) was 128.90–140.70 g/kg, of which grapefruit was the highest; the content of insoluble dietary fiber (IDF) was 471.20–503.20 g/kg, of which lemon was the highest. The water holding capacity (WHC), oil holding capacity (OHC) and swelling power (SC) were the highest in grapefruit IDF (27.88 g/g, 8.20 g/g and 23.52 mL/g, respectively) and the lowest in navel orange IDF (17.98 g/g, 3.62 g/g and 15.28 mL/g, respectively). In the range of low shear rate, the viscosity of SDF of different citrus varieties decreased with the increase of shear rate, there was shear thinning and pseudoplasticity, and the performance of grapefruit and ponkan SDF was higher viscosity. [Conclusion] The research results can provide a theoretical basis for the comprehensive utilization of dietary fiber from citrus.

**Key words** Citrus; Dietary fiber; Chemical composition; Physicochemical property; Rheology

近年来,膳食纤维在食品营养和临床医学上的重要作用越来越受到人们的广泛关注,被称为人类“第七大营养元素”<sup>[1-3]</sup>。膳食纤维虽不具营养价值,但其具有的物化特性使之具有独特的生理功能和营养保健作用,按其溶解性的不同大致分为可溶性膳食纤维(SDF)和不溶性膳食纤维(IDF)两类<sup>[4-8]</sup>。可溶性膳食纤维较不溶性膳食纤维在生理功能方面更能发挥其代谢作用,在促进肠道益生菌的生长以及预防糖尿病、肥胖病、冠心病、动脉硬化、高血脂等方面具有特殊的功效<sup>[9-15]</sup>。

Ubando等<sup>[16]</sup>对柑橘白皮层用于加工纤维,橙外果皮、中果皮、果汁囊胞、碎屑和籽中的纤维素、半纤维素、果胶和木质素的提取进行了研究。刘敏等<sup>[17]</sup>利用超声波辅助表面活性剂提取柠檬皮中果胶,结果表明,在超声时间30 min、超声功率330 W、提取温度80℃条件下,果胶提取率最高,为19.51%。Figuerola等<sup>[18]</sup>研究了柑橘皮渣和苹果柑橘皮渣中膳食纤维的功能特性,分析了2种来源的膳食纤维作为食品添加剂的可行性及注意的相关措施。王伟等<sup>[19]</sup>采用超声波辅助溶剂法提取柠檬皮中精油,在料液比1:16、破碎度20目、超声功率90%条件下柠檬精油提取率为2.43%。笔者

对柑橘属膳食纤维的化学组成、理化和流变学特性进行了详细的比较分析,提出柑橘属膳食纤维作为一种功能食品配料在我国具有广泛的开发应用前景。

## 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 分析样品为柠檬、葡萄柚、椪柑、脐橙、贡柑,均为露地种植、商业采收,无病虫害和其他损伤的成熟果实。果皮置于50℃鼓风干燥箱中干燥24 h,样品水分含量为5.83~7.02 g/kg。干燥后样品粉碎过60目筛,备用。

**1.2 试剂与仪器** 橄榄油,西班牙亿芭利油料有限公司;电子天平(ARC120),上海奥豪斯国际贸易有限公司;恒温水浴锅(HWS-26),江苏太仓实验设备厂;水浴恒温振荡器(DSHZ-300),江苏太仓实验设备厂;电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9140A),上海一恒科技有限公司;流变仪(AR1500ex),英国TA公司。

## 1.3 试验方法

**1.3.1 膳食纤维组成的测定**。采用GB/T 5009.88—2008中酶-重量法。

**1.3.2 持水力的测定**。持水力(water holding capacity, WHC)是指不受外力(除重力和大气压力)作用下,一定量的样品所结合的水量。具体操作如下:准确称取1.0 g样品于50 mL离心管中,加入20 mL去离子水,混合均匀后置于4℃条件下放置24 h后在4 200 r/min离心15 min,称重。持水力(g/g) = (样品被水饱和后的湿重 - 样品粉重量) / 样品粉重量。

**基金项目** “十二五”国家科技支撑计划(2011FJ1047);唐山市科技计划项目(16120204A)。

**作者简介** 孟哲(1984—),男,河北石家庄人,工程师,从事功能食品检验技术研究。\*通讯作者,副研究员,从事功能配料与食品添加剂研究。

**收稿日期** 2018-04-17; **修回日期** 2018-04-25

**1.3.3 持油力的测定。**持油力(oil holding capacity, OHC)是指一定量的样品所能结合的橄榄油量。具体操作如下:准确称取 1.0 g 样品于 50 mL 离心管中,加入 10 mL 橄榄油,混合均匀后置于 4 ℃ 条件下放置 1 h 后在 4 200 r/min 离心 15 min,称重。持油力(g/g)=(样品被油饱和后的湿重-样品粉重量)/样品粉重量。

**1.3.4 膨胀力的测定。**膨胀力(swelling capacity, SC)是指一定量的样品浸没在过量水中,达到平衡时所占的体积与其实际所占体积的差值。具体操作如下:准确称取 0.2 g 样品置于带刻度试管中并记录其体积,加入 5.0 mL 蒸馏水,混合均匀后在 4 ℃ 条件下放置 18 h,记录样品吸水后的体积。膨胀力(mL/g)=(溶胀后样品体积-样品粉体积)/样品粉重量。

**1.3.5 流变性性质的评价。**采用 AR1500ex 型流变仪  $\Phi$ 60 mm 不锈钢平行板测量系统,取 20 mg/mL SDF 溶液约 4 mL 于测量板上,选择稳态剪切模式,测定溶液的表观黏度随剪切速率的变化。

**1.4 数据处理** 数据分析采用 Design-Expert 7.0 进行试验设计和数据处理。

## 2 结果与分析

**2.1 柑橘属皮中膳食纤维化学组分分析** 柑橘类果皮总膳食纤维(TDF)、SDF 和 IDF 含量见表 1。由表 1 可见,不同柑橘品种的果皮中都富含膳食纤维,TDF 含量为 617.90~640.70 g/kg。以上结果表明柑橘膳食纤维可作为功能成分添加于糕点糖果、焙烤食品以及制备高纤维产品中。不同品种柑橘果皮 SDF 含量为 128.90~140.70 g/kg,其中葡萄柚最高,其次为脐橙、贡柑和椪柑,柠檬中含量最低。不同品种柑橘果皮 IDF 含量为 471.20~503.20 g/kg,其中柠檬含量最高,其次为椪柑、脐橙和贡柑,葡萄柚中含量最低。由表 1 可知,不同品种间 TDF、SDF 和 IDF 含量差异变化不显著( $P>0.05$ )。此结论与 Gorinstein 等<sup>[20]</sup>的研究结果相一致。

表 1 不同柑橘品种膳食纤维组成分析

Table 1 Analysis on composition of dietary fiber in different citrus varieties

| 柑橘属 Citrus                                       | TDF           | SDF           | IDF           |
|--|---------------|---------------|---------------|
| 脐橙 <i>C. sinensis</i> (L.) Osbeck                | 632.40±1.93 a | 136.20±0.72 a | 495.30±2.11 a |
| 葡萄柚 <i>C. grandisi</i> Marc.                     | 617.90±1.42 a | 140.70±0.17 a | 471.20±2.42 a |
| 柠檬 <i>C. limon</i> (L.) Burm. f.                 | 640.70±2.29 a | 128.90±0.15 a | 503.20±1.98 a |
| 贡柑 ( <i>C. reticulata</i> × <i>C. sinensis</i> ) | 633.10±1.85 a | 132.40±0.24 a | 484.90±1.53 a |
| 椪柑 <i>C. reticulata</i> (L.) Blanco              | 628.70±2.12 a | 130.20±0.12 a | 496.10±2.51 a |

注:同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ( $P<0.05$ )

**2.2 柑橘属皮中 IDF 理化特性比较** 膳食纤维化学结构中含有许多亲水基团,这决定了它具有很强的持水力。具体的持水力大小与纤维的来源、加工方法以及分析方法的不同而有所差异,变化范围大致在自身重量的 1.5~25.0 倍<sup>[21]</sup>。研究表明,膳食纤维的持水性可以增加人体粪便的体积和排便的速度,减轻直肠内压力,同时也减轻泌尿系统的压力,从而缓解了诸如膀胱炎、膀胱结石、肾结石这类泌尿系统疾病的症状,并能使毒物迅速排出体外<sup>[21]</sup>。

不同柑橘品种果皮 IDF 理化特性的比较见表 2。与麦

麸、豌豆、扁豆、梨和燕麦 IDF 相比,柑橘属 IDF 的 WHC、OHC 和 SC 更高,表明柑橘类水果膳食纤维具有更好的理化功能特性。由表 2 可见,葡萄柚 IDF 的 WHC 最大(27.88 g/g),其次为椪柑(24.26 g/g)和柠檬(23.91 g/g),脐橙最低(17.98 g/g),柠檬和椪柑 IDF 的 WHC 差异不显著( $P>0.05$ ),其他品种间呈现显著差异( $P<0.05$ )。文献报道,柑橘属中柠檬果皮中 IDF 持水力为 7.0 g/g<sup>[22]</sup>,‘Marsh’葡萄柚持水力为 7.0~9.3 g/g<sup>[23]</sup>,柳橙持水力为 15.5~16.7 g/g<sup>[24]</sup>,柑桔持水力为 9.63 g/g<sup>[25]</sup>。在该试验中不同柑橘品种果皮 IDF 持水力高于上述报道。

由表 2 可知,柠檬、贡柑和椪柑果皮 IDF 中 OHC 差异不显著( $P>0.05$ )。OHC 最高的为葡萄柚,为 8.20 g/g,脐橙最低,为 3.62 g/g。研究表明,柑橘属果皮 IDF 的 OHC 明显高于其他水果,比如香蕉(2.0 g/g)<sup>[26]</sup>、芒果(2.7 g/g)<sup>[21]</sup>。

膳食纤维体积较大,吸水之后体积更大,对肠道产生填充作用,并影响机体对食物其他成分(可利用的碳水化合物等)的消化吸收,人体不易产生饥饿感,对预防和治疗肥胖症十分有利。由表 2 可知,葡萄柚果皮 IDF 展现了较高的 SC(23.52 mL/g),其次为椪柑(19.46 mL),脐橙、柠檬和贡柑三者差异不显著( $P>0.05$ ),分别为 15.28、16.48 和 15.88 mL/g。Zhu 等<sup>[27]</sup>研究表明荞麦膳食纤维 SC 为 5.09 mL/g,不同柑橘品种 IDF 的 SC 是荞麦的 3.0~4.6 倍。

表 2 不同柑橘品种 IDF 理化特性的比较

Table 2 Comparison of physicochemical properties of IDF in different citrus varieties

| 品种 Variety                    | WHC//g/g     | OHC//g/g    | SC//mL/g     |
|-------------------------------|--------------|-------------|--------------|
| 麦麸 <sup>[28]</sup> Wheat bran | 5.89±0.27 e  | 2.50±0.31 d | 5.79±0.45 d  |
| 豌豆 <sup>[25]</sup> Pea        | 2.02±0.12 h  | 0.84±0.21 f | 5.52±0.13 d  |
| 扁豆 <sup>[25]</sup> Lentil     | 2.72±0.14 g  | 1.02±0.13 f | 5.03±0.09 e  |
| 梨 <sup>[29]</sup> Pear        | 5.02±0.03 f  | 2.44±0.67 d | 2.34±0.12 f  |
| 燕麦 <sup>[29]</sup> Oat        | 3.00±0.17 g  | 1.80±0.29 e | 1.52±0.22 g  |
| 柑橘属 Citrus                    |              |             |              |
| 脐橙 Navel orange               | 17.98±0.65 d | 3.62±0.25 c | 15.28±0.87 c |
| 葡萄柚 Grapefruit                | 27.88±0.98 a | 8.20±0.17 a | 23.52±1.01 a |
| 柠檬 Lemon                      | 23.91±1.07 b | 4.43±0.28 b | 16.48±1.34 c |
| 贡柑 Gonggan                    | 21.30±0.72 c | 4.42±0.38 b | 15.88±0.93 c |
| 椪柑 Ponkan                     | 24.26±1.27 b | 4.41±0.24 b | 19.46±1.12 b |

注:同列不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ( $P<0.05$ )

**2.3 柑橘属皮中 SDF 的流变性比较** 表观黏度是描述非牛顿流体的流变特性参数之一,与纤维吸附水分及形成凝胶状基质有关<sup>[30]</sup>。在 20 ℃ 时黏度随剪切速率变化如图 1 所示。在剪切速率较低的范围内,随剪切速率的升高,不同柑橘品种果皮 SDF 的黏度呈下降的趋势,有剪切稀化的现象,具有假塑性。相比于脐橙和柠檬而言,葡萄柚和椪柑 SDF 展现更高的黏度。比如,在剪切速率为 50 s<sup>-1</sup> 时,脐橙、葡萄柚、柠檬、贡柑和椪柑的黏度分别为 0.002 9、0.024 8、0.003 1、0.006 2 和 0.022 7 Pa·s。黏度的增加可能引起一系列生理反应,例如降低了餐后糖血症和胆固醇浓度<sup>[31]</sup>。从不同柑橘品种果皮 SDF 的流变曲线变化(图 2)可看出,随着剪切速率的增加,柑橘属 SDF 的剪切应力逐渐增加,并与

剪切速率呈线性关系,说明近似于牛顿流体,而且葡萄柚 SDF 比其他品种具有更大的应力值。

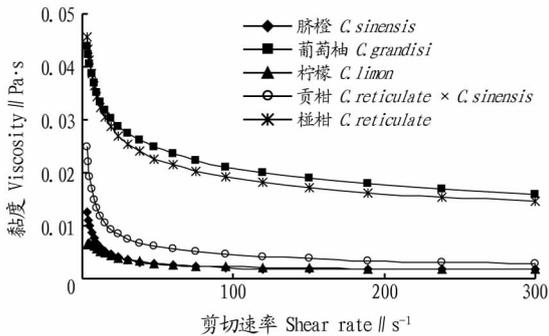


图 1 黏度与剪切速率的关系

Fig. 1 Relationship between viscosity and shear rate

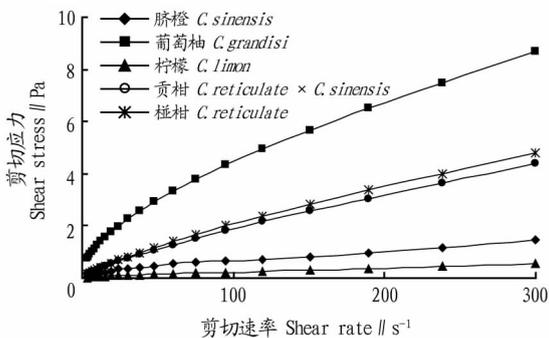


图 2 剪切应力与剪切速率的关系

Fig. 2 Relationship between shear stress and shear rate

### 3 结论

(1) 不同柑橘品种的果皮 TDF 含量为 617.90 ~ 640.70 g/kg。SDF 含量在 128.90 ~ 140.70 g/kg, 其中葡萄柚最高, 其次为脐橙、贡柑和椪柑, 柠檬中含量最低。IDF 含量为 471.20 ~ 503.20 g/kg, 其中柠檬含量最高, 其次为椪柑、脐橙和贡柑, 葡萄柚中含量最低。

(2) 葡萄柚 IDF 的 WHC 最大 (27.88 g/g), 其次为椪柑 (24.26 g/g) 和柠檬 (23.91 g/g), 脐橙最低 (17.98 g/g), 各品种 IDF 的 WHC 呈现显著差异 ( $P < 0.05$ )。OHC 最高的为葡萄柚 IDF (8.20 g/g), 脐橙最低 (3.62 g/g)。葡萄柚果皮 IDF 展现了较高的 SC (23.52 mL/g), 其次为椪柑 (19.46 mL/g), 脐橙、柠檬和贡柑三者差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 分别为 15.28、16.48 和 15.88 mL/g。

(3) 在剪切速率较低的范围内, 随剪切速率的升高, 不同柑橘品种果皮 SDF 的黏度呈下降的趋势, 有剪切稀化的现象, 具有假塑性。相比较脐橙和柠檬而言, 葡萄柚和椪柑 SDF 展现更高的黏度。

### 参考文献

[1] 杨烽, 段玉峰. 火棘膳食纤维的制备、性质及应用[J]. 食品科技, 2007, 32(5): 79-81.  
 [2] 张津凤. 玉米皮膳食纤维的双酶法制备及其性质研究[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(4): 97-101.  
 [3] 王磊, 袁芳, 向俊, 等. 椪柑渣可溶性膳食纤维的功能特性及流变性

[J]. 中国食品学报, 2015, 15(3): 24-31.  
 [4] 张爱霞, 陆淳, 马明. 膳食纤维与人体健康[J]. 中国食物与营养, 2005(3): 53-54.  
 [5] CHAWLA R, PATIL G R. Soluble dietary fiber[J]. Comprehensive reviews in food science and food safety, 2010, 9(2): 178-196.  
 [6] 石秀梅, 雷激, 梁爱华, 等. 3 种来源膳食纤维抗氧化特性比较[J]. 食品科技, 2013, 38(1): 71-75.  
 [7] 李雁, 熊明洲, 尹丛林, 等. 红薯渣不溶性膳食纤维超高压改性[J]. 农业工程学报, 2012, 28(19): 270-278.  
 [8] BENÍTEZ V, MOLLÁ E, MATÍN-CABREJAS M A, et al. Effect of sterilisation on dietary fiber and physicochemical properties of onion by-products[J]. Food chemistry, 2011, 127(2): 501-507.  
 [9] 王磊, 袁芳, 向俊, 等. 响应面法优化高压均质提取椪柑渣中可溶性膳食纤维及抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2015, 15(5): 82-89.  
 [10] 孙平, 刘可志, 赵丰. 枸杞多糖的提取及其残渣处理的研究[J]. 食品工业, 2013, 34(1): 48-50.  
 [11] 曹志新, 刘芳, 熊刚, 等. 双酶法提取麸皮膳食纤维的研究[J]. 中国食品学报, 2010, 10(2): 138-141.  
 [12] YAN H, WANG Z J, XIONG J, et al. Development of the dietary fiber functional food and studies on its toxicological and physiologic properties[J]. Food and chemical toxicology, 2012, 50(9): 3367-3374.  
 [13] WANG L, XU H G, YUAN F, et al. Preparation and physicochemical properties of soluble dietary fiber from orange peel assisted by steam explosion and dilute acid soaking[J]. Food chemistry, 2015, 185: 90-98.  
 [14] 陈龙, 郭晓辉, 李富华, 等. 食用菌膳食纤维功能特性及其应用研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(11): 303-307.  
 [15] 张向前, 任兰兰, 贺晓龙, 等. 酶解法提取红枣膳食纤维的工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(1): 113-115.  
 [16] UBANDO-RIVERA J, NAVARRO-OCAÑA A, VALDIVIA M A. Mexican lime peel: Comparative study on contents of dietary fiber and associated antioxidant activity[J]. Food chemistry, 2005, 89(1): 57-61.  
 [17] 刘敏, 黄美华, 王丹, 等. 超声波辅助表面活性剂提取柠檬皮中的果胶[J]. 广州化工, 2017, 45(16): 52-56.  
 [18] FIGUEROA F, HURTADO M L, ESTÉVEZ A M, et al. Fiber concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fiber source for good enrichment[J]. Food chemistry, 2005, 91(3): 395-401.  
 [19] 王伟, 马斌, 高剑, 等. 超声波辅助法提取柠檬皮中香精油的工艺研究[J]. 广州化工, 2016, 44(12): 102-104.  
 [20] GORINSTEIN S, MARTÍN-BELLOSO O, PARK Y S, et al. Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits[J]. Food chemistry, 2001, 74(3): 309-315.  
 [21] LARRAURI J A, RUPÉREZ P, BORROTO B, et al. Mango peels as a new tropical fibre: Preparation and characterization[J]. LWT-Food Science and Technology, 1996, 29(8): 729-733.  
 [22] LARIO Y, SENDRA E, GARCÍA-PÉREZ J, et al. Preparation of high dietary fiber powder from lemon juice by-products[J]. Innovative food science & emerging technologies, 2004, 5(1): 113-117.  
 [23] LARRAURI J A, RUPÉREZ P, BORROTO B, et al. Seasonal changes in the composition and properties of high dietary fibre powder from grapefruit peel[J]. Journal of the science of food and agriculture, 1997, 74(3): 308-312.  
 [24] CHAU C F, HUANG Y L. Comparison of the chemical composition and physicochemical properties of different fibers prepared from the peel of *Citrus sinensis* L. Cv. Liucheng[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2003, 51(9): 2615-2618.  
 [25] DE MORAES CRIZEL T, JABLONSKI A, DE OLIVEIRA RIOS A, et al. Dietary fiber from orange byproducts as potential fat replacer[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 53(1): 9-14.  
 [26] RODRÍGUEZ-AMBRIZ S L, ISLAS-HERNÁNDEZ J J, AGAMA-ACEVEDO E, et al. Characterization of a fibre-rich powder prepared by liquefaction of unripe banana flour[J]. Food chemistry, 2008, 107(4): 1515-1521.  
 [27] ZHU F M, DU B, LI R F, et al. Effect of micronization technology on physicochemical and antioxidant properties of dietary fiber from buckwheat hulls[J]. Biocatalysis and agricultural biotechnology, 2014, 3(3): 30-34.  
 [28] CHAU C F, HUANG Y L. Comparison of the chemical composition and physicochemical properties of different fibers prepared from the peel of *Citrus sinensis* L. Cv. Liucheng[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2003, 51(9): 2615-2618.

防渗砂处理的水稻产量指标高于塑料薄膜防渗处理。透气防渗砂和塑料薄膜处理在千粒重上表现无差异,在实粒数、有效分蘖数、穗粒数上透气防渗砂优于塑料薄膜。这说明用透气防渗砂在沙地水稻田在同等条件下,比膜处理更有利于水稻的生长、水稻产量更高。

表 2 不同防渗处理对水稻根系的影响

Table 2 Effects of different anti-seepage treatment on rice root

| 处理<br>Treatment                        | 根数<br>Root number<br>个 | 根干物重<br>Root dry<br>matter weight<br>g | 根体积<br>Root<br>volume<br>cm <sup>3</sup> |
|--|------------------------|--|--|
| 透气防渗砂 Breathable im-<br>permeable sand | 365 a                  | 4.94 a                                 | 18.0 a                                   |
| 塑料薄膜 Plastic film                      | 295 b                  | 4.04 b                                 | 15.7 b                                   |

注:同列不同字母表示不同处理间在 0.05 水平上差异显著

Note: Different letters in the same column indicate statistical significance at the 0.05 level



图 3 不同防渗处理对水稻根系的影响

Fig. 3 Effects of different anti-seepage treatment on rice root

### 3 结论与讨论

(1) 透气防渗砂、塑料薄膜静态接触角研究表明,透

表 3 不同防渗处理对水稻产量的影响

Table 3 Effects of different anti-seepage treatment on rice yields

| 处理<br>Treatment                   | 有效分蘖数<br>Effective tiller number<br>株 | 千粒重<br>1 000 grain<br>weight//g | 实粒数<br>Real grain<br>number//个 | 穗粒数<br>Grain number<br>per panicle//粒/穗 | 结实率<br>Seed setting<br>rate//% |
|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|--------------------------------|
| 透气防渗砂 Breathable impermeable sand | 11.3 a                                | 26.1 a                          | 46.16 a                        | 54.74 a                                 | 84.33 a                        |
| 塑料薄膜 Plastic film                 | 8.4 b                                 | 25.8 a                          | 29.42 b                        | 32.07 b                                 | 91.74 a                        |

注:同列不同字母表示不同处理间在 0.05 水平上差异显著

Note: Different letters in the same column indicate statistical significance at the 0.05 level

气防渗砂静态接触角大于塑料薄膜静态接触角,透气防渗砂疏水性强于塑料薄膜。由此说明在沙漠水稻建设中,应用透气防渗砂作为拦截水分流失材料最好。透气防渗砂产品取之于沙,经特殊工艺加工后,还之于沙,经第三方机构“SVHC”检测,不含任何不可逆的对人、对环境的影响。

(2) 根系作为水稻植株的重要组成部分,不仅能够吸收养分和水分,同时也可合成许多重要的生理活性物质,因而在水稻生长发育的过程中起着十分重要的作用<sup>[12-14]</sup>。通过比较 2 种防渗材料对沙地水稻根系根数、干物重、根体积的影响,透气防渗砂处理的沙地水稻根系指标优于塑料膜处理的沙地水稻根系。

(3) 目前沙地水稻栽培的研究还较少,推广面积也很有限。该研究仅比较了透气防渗砂、塑料薄膜对沙地水稻产量、根系指标的研究,有关沙地水稻机理性研究还需进一步深入研究。

(4) 利用透气防渗砂构建透气防渗层替代传统土工膜用于沙地稻田防渗处理,比较 2 种防渗材料的实粒数、有效分蘖数、穗粒数,透气防渗砂处理的水稻产量指标高于塑料薄膜防渗处理。奈曼旗独有的气候优势,使水稻生长期的积温可以达到 3 200 °C,而一般水稻的积温是 2 200~2 400 °C,五常稻花香的积温也仅为 2 500~2 800 °C。加之水稻生长过程中零农药、零化肥,使得生产的“大漠香”品牌大米通过有机认证。

透气防渗砂具有良好的应用前景,可为荒漠化防治及沙地栽培技术的应用与推广提供科学依据。

### 参考文献

- [1] 邹受益,张景龙,冯政夫,等. 科尔沁沙地荒漠化土地初析[J]. 中国沙漠,2001,21(1):76-78.
- [2] 乌兰图雅,包玉海,香宝. 科尔沁地区的垦殖与荒漠化[J]. 中国草地,1998(6):65-69.
- [3] 亢彦清,李永柱. 科尔沁沙地现状及沙产业发展前景[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版),2013,28(5):553-556.
- [4] 黄学文,何宗颖,严哲洙. 科尔沁沙地奈曼旗水稻生产潜力与增产途径[J]. 中国沙漠,1994,14(1):75-78.
- [5] 黄学文,严哲洙. 沙地薄膜水稻栽培研究[J]. 中国沙漠,1995,15(S1):17-24.
- [6] 黄学文. 沙地薄膜水稻的灌溉制度[J]. 中国沙漠,1995,15(S1):70-74.
- [7] 赵哈林,黄学文,刘新民. 沙地薄膜水稻栽培技术规程[J]. 中国沙漠,1995,15(S1):7-16.
- [8] 部利民,王云,谢友荣. 沙漠(地)水稻种植技术研究[J]. 哲里木畜牧学院学报,1998,8(2):29-32.
- [9] 程道远. 流沙地带铺设沥青底层防渗试验报告[J]. 中国沙漠,1986,6(2):52-56.
- [10] 王兰洁,白培峰. 水体防渗材料与技术[C]//中国公园协会 2011 年论文集. 北京:中国公园协会,2011:38-39.
- [11] 徐玉宏. 我国农田污染现状和防治对策[J]. 环境科学动态,2003(2):9-11.
- [12] 杨建昌. 水稻根系形态生理与产量、品质形成及养分吸收利用的关系[J]. 中国农业科学,2011,44(1):36-46.
- [13] YANG L X, WANG Y L, KOBAYASHI K, et al. Seasonal changes in the effects of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) on growth, morphology and physiology of rice root at three levels of nitrogen fertilization[J]. Global change biology, 2008, 14(8):1844-1853.
- [14] 陈达刚,周新桥,李丽君,等. 华南主栽高产籼稻根系形态特征及其与产量构成的关系[J]. 作物学报,2013,39(10):1899-1908.

(上接第 151 页)

- [29] RODRÍGUEZ-AMBRIZ S L, ISLAS-HERNÁNDEZ J J, AGAMA-ACEVEDO E, et al. Characterization of a fibre-rich powder prepared by liquefaction of unripe banana flour[J]. Food chemistry, 2008, 107(4):1515-1521.
- [30] DIKEMAN C L, FAHEY G C JR. Viscosity as related to dietary fiber: A re-

view[J]. Critical reviews of food science and nutrition, 2006, 46(8):649-663.

- [31] FÁBEK H, MESSERSCHMIDT S, BRULPORT V, et al. The effect of *in vitro* digestive processes on the viscosity of dietary fibres and their influence on glucose diffusion[J]. Food hydrocolloids, 2014, 35:718-726.