



王彤,周晨霓,栗涛,等.青稞与燕麦蛋白质及 $\beta$ -葡聚糖提取工艺的研究进展[J].黑龙江农业科学,2023(4):95-100.

# 青稞与燕麦蛋白质及 $\beta$ -葡聚糖提取工艺的研究进展

王彤,周晨霓,栗涛,刘昌胜,王超

(西藏农牧学院 高原生态研究所/西藏高原森林生态教育部重点实验室/西藏林芝高山森林生态系统国家野外科学观测研究站/西藏高寒植被生态安全重点实验室,西藏 林芝 860000)

**摘要:**青稞与燕麦中蛋白质及 $\beta$ -葡聚糖的提取工艺主要有碱法、酶法、复合法,本文主要对碱法、酶法以及物理方法辅助其他提取方法进行论述。综合得出,虽然碱法适合提取植物蛋白质,但由于其高浓度碱会使植物蛋白产生反应,使其营养物质变性,进而产生不利于肾脏功能的有毒物质。相对于碱法,酶法反应条件温和且不会产生有毒物质,但其成本较高。此外,在上述提取工艺过程中加入物理法进行辅助不仅可以降低提取成本,而且可显著提升植物蛋白提取效率。

**关键词:**青稞;燕麦;蛋白质; $\beta$ -葡聚糖;提取工艺

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



西藏自治区位于我国西南边陲,平均海拔4 000 m以上,素有“亚洲水塔”之称。在1980—2021年间耕地面积增加到3 703 km<sup>2</sup>,占西藏土地总面积的0.31%。3 800~4 000 m是耕地最

为集中的海拔高度,主要农作物单产比1985年有所提升,青稞与小麦单产均增加100%<sup>[1-2]</sup>。

青稞(*Hordeum vulgare* var. *nudum*)作为西藏地区的主要粮食作物<sup>[3]</sup>,其所含的活性物质对人体大有裨益,在开发药品、食品等方面具有较大潜力<sup>[4]</sup>。姚豪颖叶等<sup>[5]</sup>对不同产地的青稞进行成分分析得出,青稞体内的蛋白质质量分数为9.70%,淀粉的质量分数为66.00%,脂肪质量分数为1.70%,并且含有较高的不饱和脂肪酸以及18种氨基酸,包括8种人体所必需的氨基酸和12种

收稿日期:2022-10-20

基金项目:中国农业大学支援西藏农牧学院专项资金项目(2022TC121)。

第一作者:王彤(1996—),女,硕士研究生,从事农业生态学

研究。E-mail:986553915@qq.com。  
通信作者:周晨霓(1984—),女,硕士,副教授,从事农业生态学研究与教学工作。E-mail:chenni2018@126.com。

## Landform Landscape Characteristics and Causes of Xingyi of Guizhou Province Based on GIS Technology

LIAO Junling<sup>1</sup>, WU Kai<sup>2</sup>, CHENG Xi<sup>1</sup>

(1. Xingyi Normal University for Nationalities, Xingyi 562400, China; 2. Natural Resources of Qianxinan Prefecture, Xingyi 562400, China)

**Abstract:** Xingyi, Guizhou Province has a unique geological heritage resource-karst landform. The study of its geomorphological characteristics and causes is an important support for the development and management of geological tourism in Guizhou. According to the field investigation, karst landform of Xingyi shows different types: cone karst, tower karst and needle karst. Additionally, the vertical distribution of karst caves is concentrated in three areas: 1 380-1 450 m, 1 250-1 280 m, and 1 150-1 180 m. In this paper, aided by ArcGIS software, it was found that the law of the three-level elevation range of karst caves was also reflected in the law of terrain height difference in Xingyi, Guizhou. A large number of karst caves were distributed in the densely developed areas of the river valley, and the flow direction of the river valley was consistent with the structural weak zone. Under this research background, the causes of geomorphology and landscape were analyzed, including the influences of lithology, structure, hydrology, altitude and other factors on karst geomorphology distribution.

**Keywords:** geological relics; geomorphology resources; GIS technology; Guizhou

微量元素<sup>[6]</sup>。西藏自治区青稞体内的 $\beta$ -葡聚糖含量平均为5.25%<sup>[7]</sup>,其含量远高于其他地区种植的青稞。Izydorczyk等<sup>[8]</sup>在研究中发现,高海拔地区的青稞体内含有更多的 $\beta$ -葡聚糖<sup>[9]</sup>。 $\beta$ -葡聚糖作为一种有效的生物调节剂,可与免疫细胞的PPR结合以激发细胞的免疫防御,调节固有免疫应答<sup>[10]</sup>,并且具有预防心力衰竭<sup>[11]</sup>、降低胆固醇<sup>[12-13]</sup>和调节血糖、抗氧化等功能<sup>[14-18]</sup>。

燕麦(*Avena sativa* L.),一年生草本植物,为禾本科燕麦属,一般可分为裸粒型裸燕麦和带稃型皮燕麦两类<sup>[19]</sup>,富含蛋白质、 $\beta$ -葡聚糖等营养物质<sup>[20]</sup>。燕麦中蛋白质含量最高可达20%,它作为优质的谷物蛋白,其蛋白含量在各类谷物中均为最高<sup>[21-22]</sup>。燕麦中所含的氨基酸是各类谷物中最平衡的,其各种氨基酸的含量均接近或者高于标准水平<sup>[23]</sup>。本文对青稞和燕麦中蛋白以及 $\beta$ -葡聚糖提取工艺、提取效果等进行归纳总结,以期对青稞和燕麦中蛋白和 $\beta$ -葡聚糖的进一步研究奠定基础。

## 1 提取工艺研究

### 1.1 青稞蛋白质和 $\beta$ -葡聚糖提取工艺

1.1.1 蛋白质提取工艺 根据不同的提取工艺,青稞蛋白质提取可分为:碱法、酶法、复合法,不同的提取方法以及提取工艺对植物蛋白提取效率的影响不同(详见OSID附表1)。其中碱法提取植物蛋白的方法即利用植物蛋白的碱溶酸沉的特性,通过调节溶液pH,从而溶解植物蛋白质,后降低溶液pH至蛋白质等电点,使溶解的蛋白质沉淀,从而对青稞蛋白质进行提取。

谢昊宇等<sup>[24]</sup>在对青稞蛋白质碱法提取的研究发现,NaOH在0.1%~0.2%浓度、温度为45~50℃、时间为1h、料液比为1:12时,青稞蛋白的提取率与蛋白质含量最大,分别为83.35%与72.36%,提取过程中各条件因素对提取效果的影响大小为:pH>料液比>温度>时间;吴桂玲等<sup>[25]</sup>则采用提高溶液的pH、减少时间、增加料液接触面积的提取工艺对青稞蛋白质进行提取,由于在高pH的条件下,并减少提取时间能够在一定程度上防止植物蛋白质变性,采用这种工艺青稞蛋白的提取率为70.71%;张文会等<sup>[26]</sup>采用提高温度、延长提取时间提取青稞蛋白,料液比1:25、pH为11、温度60℃、提取时间30min,比吴桂玲等<sup>[25]</sup>的提取率略有降低,其工艺上,延长了提取时间以及温度,可能由于较高的提取温度会增加淀粉的粘稠度,从而导致青稞提取率下降。在对

青稞蛋白提取工艺的研究中,现有研究均得出pH作为植物蛋白提取的关键影响因素。碱法具有操作简单等优点,但高浓度的碱液容易使植物蛋白质变性,从而产生有毒物质,对人体造成伤害。

酶法提取植物蛋白的原理是采用酶溶解植物细胞壁,降解植物蛋白并使其转化为可溶解肽,从而对植物蛋白进行提取的一种方法。在酶法提取植物蛋白的过程中,酶的种类对蛋白提取率具有较大影响。王金水等<sup>[27]</sup>使用纤维素酶对青稞蛋白进行提取,青稞蛋白提取率为69.3%;葛娜等<sup>[28-29]</sup>使用两种蛋白酶提取大米蛋白,酸性蛋白酶对大米蛋白的提取效果更好,提取工艺选择45℃、pH3.0、蛋白提取时间4h、酶的使用量为1%,青稞蛋白的提取率可达到91.25%。其使用碱性蛋白酶对大米蛋白提取过程中,加入超声波进行辅助提取,最终结果相较于单纯的碱性蛋白酶进行提取效率更高,达到了82.50%<sup>[30]</sup>;奚海燕<sup>[31]</sup>使用双酶法进行大米蛋白提取过程中,采用的固液比为1:5,高效酶的使用量为底物的0.1%,胰酶的使用量为底物的0.2%,高效酶在胰酶加入后的4~5h加入,在提取过程中总酶解的时间保持在14h左右,高效酶酶解过程中,溶液pH为7.0,胰酶酶解过程中pH为7.4,NaOH(1mol·L<sup>-1</sup>)加入总量在酶解过程为45mL左右,温度在45℃,蛋白提取率可达91.35%。酶法对比碱法,提取植物蛋白提取率更高,同时在酶法提取植物蛋白的过程中,加入物理方法进行辅助提取具有减少加酶量、减少提取时间等优点,可降低植物蛋白提取成本<sup>[32]</sup>,能明显提高蛋白提取效率。

物理法有胶体磨法、均质法、高压法等,由于单独的物理方法对青稞蛋白进行提取效率较低,因此常被用于与其他提取方法结合在碱法和酶法的过程中,采用物理法使蛋白质与液体接触面积增大,从而加速蛋白质溶解,采用物理法进行辅助,普遍可以提高青稞蛋白质的提取率。杨希娟等<sup>[33]</sup>采用碱溶酸沉法提取青稞蛋白,同时加入超声波进行辅助提取,提取温度为25℃、料液比1:22、溶液的pH为10.5、时间20min、超声功率550W,此工艺条件下提取青稞蛋白,提取率可达到93.15%、纯度为78.67%;霍金杰等<sup>[34]</sup>则采用pH为7、微波功率460W、微波时间9min、温度40℃,青稞蛋白质的提取率可达到81.94%。二者均使用碱溶酸沉法,微波辅助进行青稞蛋白质的提取,与单一的碱法提取相比,均增加了青稞蛋白的提取率。超声辅助提取对酶法提取植物蛋白

具有促进作用,超声波在酶解反应中的主要作用为提高酶活性,加速酶解反应,并且超声波具有热效应,可以提高酶解温度,同时超声振动可以增加酶与底物的接触,从而促进酶解反应<sup>[35]</sup>。

1.1.2  $\beta$ -葡聚糖提取工艺 植物 $\beta$ -葡聚糖提取方法主要有水提法、碱提法及酸提法3种。碱提法作为目前应用较为广泛的方法,其原理为碱溶液将籽粒种皮的纤维素水解,使与纤维素结合的 $\beta$ -葡聚糖可以游离并且提取出来,从而提高植物 $\beta$ -葡聚糖产率。物理法作为一种辅助方法,单一的物理方法提取植物 $\beta$ -葡聚糖效率较低,但在提取的过程中加入物理方法进行辅助提取,可以明显提高 $\beta$ -葡聚糖的提取效率。

游茂兰等<sup>[36]</sup>使用超声-微波协同青稞 $\beta$ -葡聚糖的提取,在最优的工艺条件下。 $\beta$ -葡聚糖得率为2.29%;马国刚等<sup>[37]</sup>、徐菲等<sup>[38]</sup>均采用超声波辅助方法提取青稞 $\beta$ -葡聚糖,得率分别为3.65%和2.36%;连喜军等<sup>[39]</sup>对青稞进行预处理后使用碱提法进行青稞 $\beta$ -葡聚糖提取,提取率仅有1.09%;郝勇<sup>[40]</sup>在碱提法的基础上,加入纤维素对青稞进行预处理,提取率可达5.61%;罗燕平等<sup>[41]</sup>使用微波辅助碱法提取青稞 $\beta$ -葡聚糖,在其最优提取工艺下提取率达到5.92%,其 $\beta$ -葡聚糖提取工艺为微波处理时间160 s、微波功率800 W、粉碎粒度60目、pH10.5,其中微波功率对 $\beta$ -葡聚糖提取率的影响最大;王谦等<sup>[42-43]</sup>使用超高压与高压微波法提取青稞 $\beta$ -葡聚糖,其中超高压提取效果较好,提取率达到了3.72%,而高压微波提取率仅有3.18%;邓爱华等<sup>[44]</sup>使用超声辅助青稞 $\beta$ -葡聚糖提取,在固液比1:20(g:mL)、超声功率240 W、溶液pH9.5、温度60℃、超声20 min, $\beta$ -葡聚糖提取率为2.13%。以上研究表明,相较于单一的提取方法,复合法对植物 $\beta$ -葡聚糖的提取效率更高<sup>[45]</sup>。

水提法具有反应温和且对 $\beta$ -葡聚糖的降解小等优点<sup>[46]</sup>。张峰<sup>[47]</sup>应用水提法提取青稞 $\beta$ -葡聚糖,其最佳提取工艺为时间2 h、水料比15:1、pH为9、50℃下提取两次, $\beta$ -葡聚糖得率达到6.65%,纯度64.72%。微生物转化提取 $\beta$ -葡聚糖方法的原理是利用微生物自身产生的酶对外源物质进行催化,具有无毒、消耗低、效率高等优点。另有研究使用安琪高活性干酵母提取青稞 $\beta$ -葡聚糖,在最优的提取工艺条件下(详见OSID附表2)提取出5.21%的 $\beta$ -葡聚糖,比传统水提法高出60.8%<sup>[48-49]</sup>。

## 1.2 燕麦蛋白质和 $\beta$ -葡聚糖提取工艺

1.2.1 蛋白质提取工艺 谷类蛋白提取方法大多相同,燕麦的蛋白质提取方法主要为碱溶酸提法、酶法、复合法。碱法提取燕麦蛋白的提取率与酶法相比较低,但其成本较低,步骤简单。

刘建奎等<sup>[50]</sup>采用碱溶酸提法,在pH为10.11的条件下,燕麦蛋白提取率为64.23%,另有研究采用碱溶酸沉法提取燕麦蛋白提取,但其提取率较低,仅在31.96%~67.24%之间,翟爱华等<sup>[51]</sup>采用pH为10,温度40℃,料液比1:25,蛋白质提取率为50.2%,各项工艺中料液比对提取效果影响最大;曹辉等<sup>[52]</sup>采用的提取工艺为pH为10,温度50℃,料液比1:9,提取率为60.37%,在提取试验中pH对提取效果影响最大;李桂娟等<sup>[53]</sup>采用的提取工艺为温度40℃、料液比1:12、pH为9.6,提取效果为46.73%,在碱法提取工艺中pH的影响最大;高兴等<sup>[54]</sup>采用温度40℃、pH为9.6,料液比1:9,最终得到的蛋白质为47.34%,在提取过程中影响最大的条件因素为pH;赵素斌等<sup>[55]</sup>碱法提取过程中,采用1:28的料液比、50℃、pH为11,这种工艺条件下燕麦提取率为31.96%,其中pH对提取效果影响最大;刘光明等<sup>[56]</sup>采用pH为9.5,料液比1:10,温度45~50℃,燕麦蛋白提取率达到67.24%,并且对蛋白提取效果影响最大的同样为pH。由以上碱法提取的试验可以看出,在碱法提取青稞蛋白过程中pH对提取效果影响最大。

赵素斌等<sup>[55]</sup>采用在碱法、酶法的基础上添加物理方法进行燕麦蛋白提取,对比得到与仅用物理法提取燕麦蛋白,加入超声波辅助提取后提取效果提升,并且超声辅助酶法提取的效果更佳,超出单纯碱法提取的92%,其中超声辅助碱法提取蛋白质可达39.31%,其提取工艺为料液比1:28、温度60℃,pH为11,其中pH对蛋白提取影响最大;而超声辅助酶法的蛋白提取率可达61.43%,其提取工艺为1:17的料液比、加酶量为1.5%,其中料液比对蛋白提取的影响最大。酶法提取燕麦蛋白相较于碱溶酸提法效果较好,张晓斌等<sup>[57]</sup>使用两种淀粉酶以及碱法对燕麦蛋白进行提取试验(详见OSID附表1),碱法相对于两种淀粉酶蛋白提取率更高,但两种淀粉酶提取的蛋白质纯度更高。并且张晓平等<sup>[58]</sup>、李洋等<sup>[59]</sup>、吴素萍<sup>[60]</sup>、刘建奎等<sup>[61]</sup>采用酶法提取效果均要高于碱法,其提取率均在80%以上,并通过极差分析等得到使用酶法进行蛋白质提取的提取工艺中温度的影响最高(详见OSID附表1)。



1.2.2  $\beta$ -葡聚糖提取工艺 与青稞相同,燕麦 $\beta$ -葡聚糖在提取过程中采用单一提取工艺的方法,提取得率要低于复合法提取率(详见 OSID 附表 2)。申瑞玲等<sup>[62]</sup>采用物理法辅助燕麦 $\beta$ -葡聚糖提取,提取工艺采用固液比 1:12,微波功率 720 W, pH 为 10,进行 9 min 的提取,最终 $\beta$ -葡聚糖的提取率达到 8.31%,远高于汪海波等<sup>[63]</sup>采用水提法提取燕麦 $\beta$ -葡聚糖 3.77% 的得率。综合以上燕麦 $\beta$ -葡聚糖的提取试验得出,在提取工艺中,对提取效果影响最大的工艺为提取温度<sup>[62,64-65]</sup>,在特殊提取工艺中,则为提取次数<sup>[65]</sup>、微波功率<sup>[62]</sup>、菌种<sup>[64]</sup>对提取率影响最大。并且酶法整体提取效果要优于水提法的提取效果,潘妍<sup>[64]</sup>使用酶法、水提法以及微生物转化法进行燕麦中 $\beta$ -葡聚糖提取,水提法提取得率为  $17.30 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,酶法中碱性蛋白酶的提取得率最高,并且高于水提法,提取得率为  $19.57 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,其使用的微生物转化法采用酵母菌作为菌体,通过酵母菌发酵转化后的提取率达到  $22.72 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。张玉良<sup>[66]</sup>使用黑曲霉发酵提取燕麦 $\beta$ -葡聚糖,醇析 2 次得率为 6.28%。可以看出微生物转化法与酶法、水提法相比提取效率和稳定性更高。

## 2 工艺对比分析

已有研究中对青稞、燕麦蛋白提取主要提到化学法、物理法和酶法。化学法主要为碱溶酸提法,相对酶法较为廉价简便<sup>[67]</sup>,但高浓度的碱会造成蛋白质变性,降低植物蛋白的价值,提取液中蛋白质含量较低,美拉德反应加剧,不仅需要提取出的蛋白质进行脱色处理,而且会产生破坏肾脏功能的有毒物质<sup>[68-70]</sup>。酶法是利用酶对大米蛋白的降解,使其转化为可溶解肽从而进行提取,其反应条件较为温和,不会使植物蛋白中的营养物质遭到破坏,并且还可以提高植物蛋白质的溶解性,不会产生有害的氯丙醇类物质,但其成本较高,在产业化中需要进行优化<sup>[71-72]</sup>。酶种类对植物蛋白提取效果影响最大,前人使用碱性蛋白酶提取燕麦蛋白,其提取率均达到 80% 以上<sup>[30,58-59,61]</sup>。碱法与酶法提取植物蛋白各有优缺点,使用碱法进行植物蛋白提取,其起泡性、持水性以及吸油性均优于酶法,但酶法提取植物蛋白的泡沫稳定性、乳化稳定性和溶解性优于碱法<sup>[73]</sup>。物理法是在提取过程中使用多种物理方法,增加料液接触面积,从而提高提取效果,单独使用物理法进行植物蛋白提取效果较差。席文博等<sup>[74]</sup>对大米蛋白分离的研究中提出物理法与其

他方法结合,可增加植物蛋白的提取效率。许凤等<sup>[75]</sup>研究了 3 种物理方法辅助碱法的对比试验,得出胶体磨超声辅助对植物蛋白提取效果提升更加显著。张安宁等<sup>[76]</sup>使用冻融法辅助提取植物蛋白要比单纯的碱法提取提升 11.49% 的植物蛋白提取率,并且冻融法提取植物蛋白具有较好的持水性。袁孝瑞等<sup>[77]</sup>采用的超声辅助碱法提取方法,植物蛋白提取率达到了 78.20%,并且显著提高了蛋白的乳化性和起泡性。

$\beta$ -葡聚糖的提取方法与蛋白质稍有不同,分为水提法、酶法、物理辅助等提取方法,但其水提法溶液 pH 同样维持在 10 左右,提取条件与碱法大致相同。除水提法、酶法之外,同样有其他 $\beta$ -葡聚糖提取方法,例如微生物转化法、冻融法等。潘妍<sup>[64]</sup>使用水提法、酶法、微生物转化法对燕麦 $\beta$ -葡聚糖进行提取,其提取效果分别为微生物转化法>酶法>水提法,微生物转化法提取率最高,达到  $22.72 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,高出水提法提取率 31%,但其成本相较于水提法更高,工艺要求更严格。吴佳等<sup>[78]</sup>提出的冻融法提取燕麦 $\beta$ -葡聚糖,其提取率仅有 1.5%,因目前研究较少,且具体提取方法与其他方法不同,可以为其他提取方法提供参考。

## 3 结语

通过对大量文献的对比分析,使用酶法加物理辅助的复合法提取效果要远高于使用单一方法。并且根据上述文献分析,淀粉酶、碱性蛋白酶对青稞、燕麦蛋白质的提取效果更高。单一的方法对植物蛋白质的提取效率较低,这在 $\beta$ -葡聚糖的提取工艺上也同样适用。青稞与燕麦是我国西部地区,特别是高原地区的主要作物。因此,优化两大作物蛋白质及 $\beta$ -葡聚糖的复合提取工艺,对其时间、成本进行把控及进一步提高纯度与提取率的综合研究将是未来研究追求的目标。

## 参考文献:

- [1] 杨春艳,沈渭寿,王涛.近 30 年西藏耕地面积时空变化特征[J].农业工程学报,2015,31(1):264-271.
- [2] 张毅,马跃峰,负民政,等.近 30 年西藏地区耕地面积及主要农作物时空变化特征[J].高原农业,2020,4(1):17-25.
- [3] 谭占坤,商振达,刘锁珠,等.西藏主要饲料粮调查及养分测定分析[J].饲料研究,2020,43(6):91-96.
- [4] 罗静,李玉峰,胥霞.青稞中的活性物质及功能研究进展[J].食品与发酵工业,2018,44(9):300-304.
- [5] 姚豪颖叶,聂少平,鄢为唯,等.不同产地青稞原料中的营养成分分析[J].南昌大学学报(工科版),2015,37(1):11-15.
- [6] 王鹏珍,牛忠海,张世满,等.青稞原料营养成分浅析[J].酿酒科技,1997(3):30-31.

- [7] 洛桑旦达, 强小林. 青稞特有营养成分分析与开发利用现状调查研究报告[J]. 西藏科技, 2001(8): 55-64, 54.
- [8] IZYDORCZYK M S, STORSLEY J, Labossiere D, et al. Variation in total and soluble  $\beta$ -glucan content in hullless barley: effects of thermal, physical, and enzymic treatments [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(4): 982-989.
- [9] 徐菲, 党斌, 杨希娟, 等. 不同青稞品种的营养品质评价[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(9): 1249-1257.
- [10] 徐冬勤, 张晓航, 戚春建.  $\beta$ 葡聚糖在抗肿瘤免疫应答中的研究进展[J]. 中国免疫学杂志, 2016, 32(11): 1715-1717.
- [11] AGOSTINI S, CHIAVACCI E, MATTEUCCI M, et al. Barley beta-glucan promotes MnSOD expression and enhances angiogenesis under oxidative microenvironment [J]. Journal of Cellular and Molecular Medicine, 2015, 19(1): 227-238.
- [12] MCINTOSH G H, NEWMAN R K, NEWMAN C W. Barley foods and their influence on cholesterol metabolism [J]. Plants in Human Nutrition, 1995, 77: 89-108.
- [13] DAVIDSON M H, DUGAN L D, BURNS J H, et al. The hypocholesterolemic effects of  $\beta$ -glucan in oatmeal and oat bran: a dose-controlled study [J]. The Journal of the American Medical Association, 1991, 265(14): 1833-1839.
- [14] WOOD P J, BEER M U, BUTLER G. Evaluation of role of concentration and molecular weight of oat  $\beta$ -glucan in determining effect of viscosity on plasma glucose and insulin following an oral glucose load [J]. British Journal of Nutrition, 2000, 84(1): 19-23.
- [15] HALLFRISCH J, SCHOLFIELD D J, BEHALL K M. Diets containing soluble oat extracts improve glucose and insulin responses of moderately hypercholesterolemic men and women [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1995, 61(2): 379-384.
- [16] TAPPY L, GÜGOLZ E, WÜRSCH P. Effects of breakfast cereals containing various amounts of  $\beta$ -glucan fibers on plasma glucose and insulin responses in NIDDM subjects [J]. Diabetes Care, 1996, 19(8): 831-834.
- [17] OU S, KWOK K, LI Y, et al. *In vitro* study of possible role of dietary fiber in lowering postprandial serum glucose [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(2): 1026-1029.
- [18] JENKINS A L, JENKINS D J A, ZDRAVKOVIC U, et al. Depression of the glycemic index by high levels of  $\beta$ -glucan fiber in two functional foods tested in type 2 diabetes [J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2002, 56(7): 622-628.
- [19] 章海燕, 张晖, 王立, 等. 燕麦研究进展[J]. 粮食与油脂, 2009(8): 7-9.
- [20] MOHAMED A, BIRESAW G, XU J, et al. Oats protein isolate: thermal, rheological, surface and functional properties [J]. Food Research International, 2008, 42(1): 107-114.
- [21] 许英一, 王宇, 林巍. 酶法提取燕麦蛋白理化性质研究[J]. 食品工业, 2018, 39(7): 72-75.
- [22] 徐悦, 郭亚男, 李顺秀, 等. 超声对燕麦蛋白氧化聚集体结构及特性的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(11): 85-91, 116.
- [23] YUE J X, GU Z X, ZHU Z B, et al. Impact of defatting treatment and oat varieties on structural, functional properties, and aromatic profile of oat protein [J]. Food Hydrocolloids, 2021, 112: 106368.
- [24] 谢昊宇, 贾冬英, 迟原龙, 等. 青稞蛋白质碱法提取条件的优化研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(18): 281-283, 287.
- [25] 吴桂玲, 刘立品, 李文浩, 等. 碱溶酸沉法提取青稞蛋白质的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(5): 19-24.
- [26] 张文会, 顿珠次仁. 碱溶酸沉法提取青稞蛋白的工艺研究[J]. 食品科技, 2014, 39(10): 219-222.
- [27] 王金水, 李涛, 焦健. 水酶法提取青稞蛋白工艺研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(9): 267-269.
- [28] 葛娜, 易翠平, 姚惠源. 碱性蛋白酶提取大米水解蛋白的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2006(4): 25-27.
- [29] 葛娜, 易翠平, 姚惠源. 酸性蛋白酶提取大米水解蛋白的研究[J]. 食品与机械, 2006(1): 53-55, 58.
- [30] 葛娜. 酶法提取大米蛋白及其应用的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2006.
- [31] 奚海燕. 大米蛋白的提取及改性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [32] 萨如拉, 文静, 于田田, 等. 超声波辅助酶法提取燕麦麸皮蛋白质的工艺研究[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2021, 37(1): 17-20.
- [33] 杨希娟, 党斌, 吴昆仑, 等. 青稞蛋白的超声波辅助提取工艺及其功能特性研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(6): 48-56.
- [34] 霍金杰, 肖志刚, 王娜, 等. 青稞蛋白质的微波辅助提取工艺及性质研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(21): 145-153.
- [35] 杨进妹, 王婷, 何荣海. 超声对酶解反应的影响[J]. 农产品加工, 2010(7): 70-71, 73.
- [36] 游茂兰, 覃小丽, 段娇娇, 等. 超声-微波协同提取青稞 $\beta$ 葡聚糖[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(8): 178-183.
- [37] 马国刚, 王建中. 超声波辅助提取青稞 $\beta$ 葡聚糖的工艺条件优化[J]. 食品科技, 2009, 34(11): 168-174.
- [38] 徐菲, 党斌, 迟德钊. 超声波辅助提取青稞 $\beta$ 葡聚糖工艺优化[J]. 食品科技, 2014, 39(12): 217-221.
- [39] 连喜军, 张平平, 罗庆丰. 西藏青稞中 $\beta$ 葡聚糖提取的研究[J]. 天津农学院学报, 2005(4): 25-27.
- [40] 郝勇. 青稞 $\beta$ 葡聚糖提取纯化工艺研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2011.
- [41] 罗燕平, 李家林, 张雪飞. 微波辅助提取青稞 $\beta$ 葡聚糖工艺优化[J]. 农产品加工, 2016(14): 35-38.
- [42] 王谦, 董海丽. 超高压提取青稞 $\beta$ 葡聚糖工艺优化[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(5): 79-81.
- [43] 王谦, 董海丽. 青稞 $\beta$ 葡聚糖高压微波提取工艺条件的优化[J]. 轻工科技, 2015, 31(3): 16-17, 41.
- [44] 邓爱华, 杨品红, 刘也嘉, 等. 青稞 $\beta$ 葡聚糖超声辅助提取工艺优化[J]. 粮食科技与经济, 2022, 47(3): 108-112.
- [45] 郭欢. 青稞 $\beta$ 葡聚糖的提取分离、结构表征、化学修饰及其生物活性研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2020.
- [46] TEMELLI F. Extraction and functional properties of barley  $\beta$ -glucan as affected by temperature and pH [J]. Journal of Food Science, 1997, 62(6): 1194-1201.
- [47] 张峰. 青稞 $\beta$ 葡聚糖的分离纯化及其理化性质研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2005.

- [48] 顾飞燕. 青稞  $\beta$ -葡聚糖的提取及其在化妆品中的应用[D]. 上海:上海应用技术大学, 2018.
- [49] 刘新琦, 何先喆, 刘洁纯, 等. 发酵法提取青稞麸皮中  $\beta$ -葡聚糖的工艺优化及其理化性质研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(7): 49-54.
- [50] 刘建奎, 郝利平. 影响碱提酸沉法提取燕麦蛋白因素的分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2013, 33(5): 429-435.
- [51] 翟爱华, 季娜, 刘恒芝. 燕麦分离蛋白提取工艺研究[J]. 食品科学, 2006(12): 439-441.
- [52] 曹辉, 李蕾, 马海乐. 燕麦分离蛋白提取工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(22): 10681-10683.
- [53] 李桂娟, 樊守瑞, 尤伟, 等. 燕麦蛋白的制备工艺研究[J]. 食品与机械, 2009, 25(1): 120-123.
- [54] 高兴, 李桂娟. 碱提酸沉法提取燕麦蛋白的工艺研究[J]. 中国西部科技, 2010, 9(31): 29-31.
- [55] 赵素斌, 张晓平, 任清. 3 种方法提取燕麦麸蛋白及其产物的比较[J]. 食品科学, 2010, 31(14): 71-79.
- [56] 刘光明, 李林. 碱提酸沉法制备燕麦浓缩蛋白的工艺研究[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2011, 23(1): 60-62.
- [57] 张晓斌. 燕麦蛋白和淀粉的提取纯化工艺研究[J]. 粮油食品科技, 2011, 19(5): 12-14, 32.
- [58] 张晓平, 任清, 蒋琼, 等. 酶法提取燕麦蛋白及脱色工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6): 268-270, 274.
- [59] 李洋, 韩小贤, 张杰, 等. 碱性蛋白酶法提取燕麦蛋白的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2012, 33(6): 77-80.
- [60] 吴素萍. 超声辅助酶法提取燕麦蛋白的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2007(9): 22-25.
- [61] 刘建奎, 李英杰, 郝利平. 均匀试验设计优化酶法提取燕麦全粉蛋白质研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(8): 78-82, 86.
- [62] 申瑞玲, 董吉林, 王章存. 裸燕麦麸皮  $\beta$ -葡聚糖微波提取工艺研究[J]. 中国农学通报, 2006(10): 316-320.
- [63] 汪海波, 刘大川, 谢笔钧. 燕麦中  $\beta$ -葡聚糖的提取及分离纯化工艺研究[J]. 食品科学, 2004(5): 143-147.
- [64] 潘妍. 生物转化提取燕麦  $\beta$ -葡聚糖及其化妆品功效研究[D]. 北京:北京工商大学, 2010.
- [65] 张娟, 杜先锋. 二次回归法优化燕麦  $\beta$ -葡聚糖提取工艺的研究[J]. 中国食品添加剂, 2006(5): 81-85.
- [66] 张玉良. 燕麦  $\beta$ -葡聚糖的微生物法提取及理化性质研究[D]. 大连:大连工业大学, 2012.
- [67] 谢宇霞, 吴家乾, 黄玉, 等. 碱法提取米糠中粗蛋白的几个影响因素探讨[J]. 粮食加工, 2022, 47(3): 34-36.
- [68] de GROOT A P, SLUMP P. Effects of severe alkali treatment of proteins on amino acid composition and nutritive value[J]. The Journal of Nutrition, 1969, 98(1): 45-56.
- [69] 魏明英, 郭应龙. 大米蛋白的研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2003(3): 44-45.
- [70] 王文高, 陈正行, 姚惠源. 不同蛋白酶提取大米蛋白质的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2002(2): 41-42.
- [71] 李宏凯. 酶法水解植物蛋白概况[J]. 中国食品添加剂, 2010(4): 233-237.
- [72] 彭清辉, 林亲录, 陈亚泉. 大米蛋白研究与利用概述[J]. 中国食物与营养, 2008(8): 34-36.
- [73] 郭荣荣, 潘思轶, 王可兴. 碱法与酶法提取大米蛋白工艺及功能特性比较研究[J]. 食品科学, 2005(3): 173-177.
- [74] 席文博, 赵思明, 刘友明. 大米蛋白分离提取的研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2003(10): 45-47.
- [75] 许凤, 王长远. 响应面法优化物理辅助碱法提取米糠蛋白工艺[J]. 食品科学, 2014, 35(20): 11-16.
- [76] 张安宁, 王晔, 李照晴, 等. 反复冻融辅助弱碱法提取米糠蛋白[J]. 食品工业, 2020, 41(10): 141-145.
- [77] 袁孝瑞, 陈贺宇, 刘玉, 等. 超声波辅助热碱法提取藜麦蛋白的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2022, 43(13): 190-197.
- [78] 吴佳, 林向阳, 黄迪惠, 等. 燕麦  $\beta$ -葡聚糖的冻融法提取及其结构表征[J]. 中国食品学报, 2011, 11(4): 48-54.

## Research Progress on Extraction Technology of Protein and $\beta$ -Glucan in Highland Barley and Oat

WANG Tong, ZHOU Chenni, LI Tao, LIU Changsheng, WHANG Chao

(Institute of Tibet Plateau Ecology, Tibet Agriculture & Animal Husbandry University/Key Laboratory of Forest Ecology in Tibet Plateau, Ministry of Education/Nyingchi National Forest Ecosystem Observation & Research Station of Tibet/Key Laboratory of Alpine Vegetation Ecological Security in Tibet, Nyingchi 860000, China)

**Abstract:** The extraction technologies of protein and  $\beta$ -glucan in highland barley and oat mainly include alkaline method, enzymatic method and composite method. This article mainly discussed the alkali method, enzymatic method and physical method and their assisting other extraction methods. It is comprehensively concluded that although alkali method was suitable for extracting plant protein, its high concentration of alkali will affect the plant protein, making its nutrients denatured and destroyed, and will produce toxic substances that damage kidney function. Compared with alkaline process, enzymatic reaction conditions were mild and do not produce toxic substances, but its cost was high. The addition of physical method in the extraction process can not only reduce the extraction cost, but also significantly improve the efficiency of plant protein extraction.

**Keywords:** highland barley; oat; protein;  $\beta$ -glucan; extraction process