



DOI:10.14188/j.ajsh.2023.06.006

黄精基原植物种子繁育研究进展

黄文娟,杨马进,叶昌华,李臻,王辉*

(四川省农业特色植物研究院,四川内江 641200)

摘要: 滇黄精(*Polygonatum kingianum*)、黄精(*Polygonatum sibiricum*)和多花黄精(*Polygonatum cyrtoneura*) 3种百合科(Liliaceae)植物为药材黄精的基原植物,药用部位为干燥根茎,繁殖方式主要有根茎繁殖、种子繁殖。但长期的根茎繁殖容易引起黄精品质退化、抗性降低、病虫害日益严重等问题。因此,黄精的种子繁殖势在必行。本文从黄精基原植物种子生殖特性、采收与贮藏、形态结构、化学成分、萌发特性、休眠特性、萌发及出苗影响因素和播种等方面进行综合论述,对黄精种子育苗有一定的指导意义,为黄精种质资源保护和可持续利用提供参考。

关键词: 黄精;种子;繁育;休眠;萌发

中图分类号: S567.23+9

文献标志码: A

文章编号: 2096-3491(2023)06-0564-08

Research progress in seed propagation of original plant of Polygonati Rhizoma

HUANG Wenjuan, YANG Majin, YE Changhua, LI Zhen, WANG Hui*

(Sichuan Academy of Agricultural Characteristic Plants, Neijiang 641200, Sichuan, China)

Abstract: The plants *Polygonatum kingianum*, *Polygonatum sibiricum*, and *Polygonatum cyrtoneura* in the Liliaceae family are the original sources of Polygonati Rhizoma (PR), and their dried rhizomes are utilized for medicinal purposes. The primary reproductive methods employed by these three medicinal plants from the genus *Polygonatum* include rhizome reproduction and seed propagation. However, the long-term rhizome reproduction leads to quality degradation, resistance reduction, and increasingly serious diseases and pests. Therefore, seed propagation of PR is imperative. The present study comprehensively discusses the reproductive characteristics, harvesting and storage methods, morphological structure, chemical composition, germination characteristics, dormancy traits, factors influencing germination and emergence as well as sowing techniques of *Polygonatum* seeds. It holds significant implications for the cultivation of *Polygonatum* seeds and provides valuable references for the conservation of germplasm resources and sustainable utilization of *Polygonatum*.

Key words: Polygonati Rhizoma; seed; propagation; dormancy; germination

0 引言

2020版《中国药典》^[1]收录了3种百合科(Liliaceae)黄精属(*Polygonatum*)植物滇黄精(*Polygona-*

tum kingianum Coll. et Hemsl.)、黄精(*Polygonatum sibiricum* Red.)和多花黄精(*Polygonatum cyrtoneura* Hua),其干燥根茎作为药材黄精,按其干燥根茎形状的不同,又称为“大黄精”、“鸡头黄精”、“姜

收稿日期:2023-09-01 修回日期:2023-11-15 接受日期:2023-12-25

作者简介:黄文娟(1995-),女,硕士,研究实习员,主要从事药用植物资源评价与利用研究。E-mail:2957743652@qq.com

*通讯联系人:王辉(1971-),男,学士,高级农艺师,主要从事药用植物品种选育。E-mail:1299102868@qq.com

基金项目:四川省省级公益性科研单位基本科研业务费专项资金项目(23JDKY04);四川省省级公益性科研单位基本科研业务费专项资金项目(21JDKY08)

引用格式:黄文娟,杨马进,叶昌华,等.黄精基原植物种子繁育研究进展[J].生物资源,2023,45(6):564-571.

Huang W J, Yang M J, Ye C H, et al. Research progress in seed propagation of original plant of Polygonati Rhizoma [J]. Biotic Resources, 2023, 45(6): 564-571.

形黄精”^[1]。药材黄精以块大、肥润、色黄白、断面透明者为优,誉有“血气双补之王”之称,味苦者不可入药^[2,3]。药材黄精野生资源随着大量采挖已接近枯竭状态,作为药食同源植物,人工栽培和需求量日益增大。但目前黄精生产中,药农多采用根茎繁殖,用种量大,成本较高,同时造成了品种优良性状退化、病虫害加重和品质产量的下降,种子繁育可在一定程度上解决以上问题^[3,4]。但种子繁育也存在一些问题,如繁育周期较长、结实率低、不易萌发等^[3,4]。本文从黄精基原植物种子生殖特性、采收与贮藏、形态结构、内含物、萌发休眠特性、出苗播种等方面进行论述,旨在对生产上黄精种子育苗、扩大黄精种植规模提供参考。

1 黄精属植物地理分布

全球黄精属有超过80个物种,中国有39种,其中20种为特有物种,广布于北温带,即中国西南部和喜马拉雅东部^[5,6]。黄精属植物从海拔在0~4 500 m左右均有分布,一般作为附生植物出现在林下层植被或云雾森林中,生于阴湿林下、水源边、灌丛、荒石中^[5,7,8]。有学者通过建立分子系统发育树对黄精属植物进行了区系地理的研究,发现其经常出现在喜马拉雅山高山生境中,推测黄精属可能起源于东亚南部^[5,9]。对黄精属植物进行核型分析研究,发现横断山地区核型变异类型较多,提出黄精的起源中心可能在横断山地区^[6]。滇黄精和黄精在中国具有广泛的分布,但不是中国特有种,而多花黄精暂未有国外分布的报道^[1~10]。根据文献记载,在中国滇黄精主要分布在贵州、四川、云南等省,黄精主要在黑龙江、吉林、辽宁、山东等省,多花黄精主要在四川、福建、浙江、贵州、湖南、湖北等地区^[5,7,8,10]。

2 黄精基原植物生殖特性

黄精、多花黄精的花从基部向上生出和开放,具有柱头分泌粘性物质、柱头花开放前无可授性、雌雄空间分离等特性,这些特性在一定程度上限制了自花授粉^[11,12]。有学者发现多花黄精自花不育,需要昆虫(主要为蜜蜂)传粉或人工授粉获得杂交种^[13];而有研究者认为多花黄精具有无融合生殖、自交和异交等三种生殖方式^[14]。还有研究认为黄精为自花授粉植物,开花前花粉活力高于开花后,自花授粉结实率较高^[15];也有研究认为黄精均属于高度异花授粉植物,需要蜂类和蝇类进行传粉,少量自交现象,不存在无融合生殖现象^[8]。以上可知,黄精基原植物生殖方式存在一定的争议,需进一步研究其授粉

方式和特性,为育种提供参考。黄精适度遮荫花粉活力明显高于露天栽培,但露天种植的多花黄精结实率高,因此建议前期适度遮阴,后期保证充足的光照条件^[11,12,15]。另外,黄精属物种具有天然多倍化和非整倍化现象,有利于倍性育种^[16]。

3 黄精基原植物种子采集与储藏

黄精种子宜选择种植3年以上的植株^[17,18]。通过对不同着生部位黄精种子的生理研究发现,黄精上部种子含水率高于中、下部种子,下部种子过氧化氢酶(catalase, CAT)活性、粗脂肪含量、可溶性蛋白含量高于中、上部,因此黄精中、下部种子的成熟度高于上部,质量优于上部^[19]。黄精果实呈墨绿或紫黑色,种子呈球形,最佳采收期为10月中上旬^[20,21]。多花黄精果实呈黑色或黑绿色、球形,滇黄精果实呈深绿色或红紫色,这2种植物采收期在10月下旬,应及时采收,避免果实脱落^[18]。黄精基原植物种子属于低度顽拗性种子,适合在0~4℃、湿沙(含水率为45%)环境下100~120 d贮藏,保证其活性^[18,22~24]。有研究表明采收后经户外沙藏比4℃冰箱沙藏更能使黄精种子发芽^[25]。且黄精种子层积过程中可溶性蛋白质含量增加,脂肪、淀粉、可溶性糖含量下降^[22]。由此可知,对于黄精基原植物储藏方式均以沙藏为主,贮藏过程中种子化学成分发生变化、自身组织分化与形态构建,等待种子萌发。

4 黄精基原植物种子形态结构及化学成分

黄精、滇黄精、多花黄精的成熟种子由种皮、胚乳和胚等3部分组成^[23~28]。种皮木质化,由一层部分壁木质化的细胞构成,并有一层角质层^[23]。胚乳以胚轴为中心呈辐射状排列,胚乳细胞壁呈现从断线状的波浪形向内凸起发展成均匀厚实的次生壁加厚方式,形成由木质素沉积所形成的石细胞,细胞质浓厚,胞间隙小,结构致密坚硬,形成胚乳特异结构^[21,26,27]。成熟种子胚已有一定的分化,处于棒型胚阶段,靠近种脐的部位为子叶,占胚的大部分,有子叶包裹的心形胚芽,但仍为不完全胚(不成熟胚),没有明显的胚芽、胚轴、胚根的分化,存在形态后熟^[23,27,28]。

黄精种子属于淀粉性种子,表面为淡黄白色,干燥后呈黄褐色^[27,29,30]。采用索氏提取法、气相色谱法等方法对黄精种子化学成分进行分析,发现除含有丰富的淀粉外,还含有10.74%粗脂肪、8.21%粗蛋白,脂肪酸主要含有亚油酸棕、棕榈酸、油酸、硬脂酸等,还含有丰富的可溶性糖、还原糖和游离氨基酸等

成分,氨基酸中以谷氨酸含量最高,必需氨基酸含量比小麦、玉米高^[30,31]。有研究发现黄精的果肉和种子中含有萌发抑制物,该物质抑制白菜种子萌发^[30,32]。通过高效液相色谱-质谱法对多花黄精种子内源激素研究,发现多花黄精种子中含有脱落酸(abscisic acid, ABA)、生长素(3-indoleacetic acid, IAA)、赤霉素(gibberellins, GA₃)和反式玉米素(trans-zeatin, TZR)4种内源激素,其含量及GA₃/ABA和TZR/ABA的比值随着种子萌发呈现不同的动态变化,是多花黄精休眠解除与萌发的关键因素^[33]。渝东北地区野生滇黄精品质检测发现种子含有较丰富的粗多糖(11.32%),比叶子中多糖含量高;种子总氨基酸含量达8.857%;相对其他部位,种子重金属含量最低,未检出铬、砷^[34]。可见,黄精基原植物种子营养价值较高,含有调控种子萌发的激素类物质,且有重金属富集程度低的特点。

5 黄精基原植物萌发特性

黄精基原植物发芽是一种特殊的生物学现象,种子内部靠近种脐端分化为吸器、子叶联结和子叶鞘^[26,29]。在种子萌发过程中,胚在靠近种孔的部位伸出一个脐带组织(子叶联结),伸出部分顶端稍靠后有个突起部位(子叶鞘),膨大形成球形体外胚,胚乳的营养物质被吸器吸收转移,种子颜色变黑,吸器消失,子叶联结退化,球形体外胚分化出胚根、胚轴和胚芽(成熟胚)^[26,29]。黄精从种子到出苗分为四个时期:成熟种子期,球茎期(25℃层积期),低温层积时期(4℃层积期)和出苗期^[35]。黄精种子自然条件下萌发率较低,而且当年不出土,先由下胚轴膨大形成贮藏组织(初生根茎),等第二年适宜条件下时长出真叶^[26]。研究发现黄精种子可在25℃30d萌发形成小球茎,再经过4℃沙藏60d后才出苗,而多花黄精和滇黄精种子在沙藏25℃条件下约45d开始萌发,不经过低温处理也可在120d左右开始出苗^[36]。

6 黄精基原植物种子休眠特性

3种黄精属植物种子成苗过程中有两次休眠,第一次是突破种皮前的种子休眠,第二次是球茎休眠,即种子下胚轴穿过种皮,膨胀成球茎(初生根茎)进入内休眠状态,也称为根茎芽休眠^[37,38]。黄精种子和白菜种子经球茎浸提液处理,发芽率仅有20%左右,表明黄精种子、球茎中含有内源抑制物质^[29]。黄精种子萌发形成小球茎后需要低温解除生理休眠^[36]。大部分研究认为黄精种子休眠由种皮木质

化、胚乳特异性结构、胚形态后熟、内源抑制物等因素共同作用所致,即综合休眠^[21~39]。有研究发现多花黄精种子存在胚分化不明显和胚乳弱化的现象,具有形态生理休眠特性^[40]。有学者认为多花黄精和滇黄精种子均属于形态休眠类型^[33,36]。对于黄精属植物休眠机制还需进行系统性深入研究。

7 黄精基原植物种子萌发的影响因子

7.1 温度、水处理对黄精基原植物种子萌发的影响

恒温实验研究发现,滇黄精、多花黄精、黄精的最适萌发温度为25℃,其中黄精种子的萌发速度最快、萌发率高,滇黄精种子在20~30℃范围内均有较高的萌发率和分化率^[23,36]。变温层积实验发现,滇黄精、黄精在变温组合30℃12h/20℃12h处理下发芽较好,多花黄精在20℃12h/10℃12h处理下发芽较好,因此滇黄精、黄精适宜夏天播种,多花黄精适合在秋季播种,次年春季出苗^[35]。对黄精种子进行短时间水浴处理,发现温度越高,萌发率越高,尤其热水温度高于75℃效果显著^[41]。有研究发现黑暗条件下40℃温水浸种24~30h可提高黄精种子发芽率和发芽势^[24]。种子萌发的正交实验研究表明,黄精种子萌发的最优组合为100mg/L GA₃、20℃12h、3% H₂O₂ 15min消毒,其中浸种温度是黄精种子萌发的最主要因素^[42]。由此可知,对黄精种子采用高温短时或低温长时水浴处理可达到更佳的萌发效果。

7.2 激素、试剂处理对黄精基原植物种子萌发的影响

一定浓度的植物试剂处理可以促进黄精种子的萌发,如GA₃、IAA、油菜素内酯(brassinolide, BL)、6-苄氨基嘌呤(6-benzylaminopurine, 6-BA)、硝普钠(sodium nitroprusside dihydrate, SNP)、乙烯(ethylene, ETH)等^[20,24,41~46]。有研究分别采用500mg/L SNP、300mg/L ETH及200mg/L GA₃处理24h均可打破种子休眠,其中ETH效果更明显^[20,43]。通过HPLC-MS(高效液相色谱-质谱法)研究发现,IAA可能在滇黄精从内休眠到非休眠的复杂调控机制中发挥重要作用^[38]。通过转录组、代谢组对种子萌发进行分析,发现植物激素GA₃、ABA与多花黄精种子萌发密切相关^[33,47]。黄精、多花黄精种子宜用弱酸化学试剂处理,如10%硫酸处理1min、10%冰乙酸处理15min可有效打破休眠,提高种子的萌发率^[41,48];不宜用碱性试剂处理,如NaOH处理可抑制种子萌发,出现生根不破土现象^[22,41,48]。3.0% H₂O₂

处理 15 min 还可有效防止种子在萌发过程中的腐烂^[24]。低浓度外源硒处理可促进黄精种子萌发和幼苗的生长,高浓度则会抑制^[49]。

7.3 种子结构与规格、内含物等对黄精基原植物种子萌发的影响

为避免对种皮造成伤害,发酵清除法相对搓果皮或剥取种子更易且适宜获取黄精种子^[18,22,23,43]。黄精种子宜选取重量越大、种皮亮黄色的黄精种子进行种植培育^[50]。黄精绿皮种子休眠程度较浅,应提早采收种子,避免进入生理休眠过程^[20,21]。黄精种子整体抗旱能力较差,需要充足的水分补充^[51]。相对于中性盐(NaCl),黄精种子对碱性盐(NaHCO₃)的耐受性较强^[51]。直接机械处理可有效打破种子种皮导致的休眠^[48]。有研究发现黄精种子经过 20 min 超声处理,发芽率可达 85.71%^[52]。H₂O₂、细胞壁降解酶类对黄精种子胚乳起弱化作用,促进黄精种子萌芽^[37]。组学分析表明, α -淀粉酶活性与苯丙素和类黄酮生物合成相关的代谢途径、羟基肉桂基衍生物和有机酸合成途径、黄精基原植物种子萌发密切相关^[30,47]。

8 黄精基原植物球茎休眠与出苗处理

黄精种子出苗过程可分为 3 个阶段:①黑暗条件下,25℃温层化 4~6 周形成初生球茎;②黑暗条件下,4℃冷藏 8 周;③光照条件下,25℃诱导出苗^[33,53,54]。多花黄精和滇黄精在 25℃持续层积条件下 115 d 左右出苗^[36]。有研究发现 100 mg/L 6-BA 可提高出苗率,缩短出苗时间,打破种子与胚根基部交界处根茎芽的休眠,促进地上部分生长,降低黄精初生根茎的腐烂率^[24,42]。还有研究发现,6-BA 200 mg/L 12 h 为打破多花黄精芽休眠的最佳处理,出苗率可达 90%^[43]。3 种黄精基原植物不同种或不同生长环境条件下,最适的激素浓度条件不同。

9 黄精基原植物播种、移栽及管理

滇黄精、黄精、多花黄精分别适合在夏季、夏季、秋季播种,次年春季出苗^[36]。有研究发现营养土:蛭石(体积比为 2:1)的土壤配比能显著提高黄精初生根茎的出苗率和出苗指数^[42]。有学者认为河沙:蛭石(体积比为 1:1)为最佳发芽基质,比分别在滤纸、河沙、粘土基质上的发芽率更高^[22]。还有研究发现黄精基原植物种子第 1 年幼苗不宜移植,大田移植宜用 3 年生苗,林下移植适合 2 年生苗^[55,56]。有机肥、除草和水分管理等栽培管理措施在移栽后的第 1 年需特别注意,施肥管理需在第 2 年特别注意,从

种子到根茎药用的植株需要 4~6 年的生长年限^[57]。

10 小 结

黄精属植物品种繁多,录入《中国药典》中作为药材黄精仅有滇黄精、黄精和多花黄精 3 种黄精植物。但民间大量黄精基原植物变种或姐妹种的根茎被作为药材黄精,如大叶黄精(*Polygonatum kingianum* var. *grandifolium*)具有产量大、育苗周期短、适应性强等优点,根茎味甜,具有多糖、皂苷等药效物质^[58~60],因此黄精属植物的药用价值有待进一步开发,以保证中药资源的保护和可持续利用。对于黄精属生殖特性研究较少,需进一步研究黄精属物种授粉方式和特性。3 种黄精基原植物种子萌发及幼苗生长是一个较为复杂的生理过程,存在突破种皮的种子休眠、初生球茎休眠 2 个休眠阶段,造成种子繁育成苗周期较长及成苗率低的问题。本文论述了 3 种黄精基原植物种子形态、萌发休眠特性及打破种子休眠的方法,但研究种子的生长影响因素及有效破除休眠的方法仍有待进一步的深入研究,为黄精基原植物在实际生产中提供技术支撑。

参考文献

- [1] 国家药典委员. 中华人民共和国药典(2020 年版一部)[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 319-320.
Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China (Volume 1, 2020 edition)[M]. Beijing: The Medicine Science and Technology Press of China, 2020: 319-320.
- [2] 王晓慧, 赵祺, 姜程曦. 九华黄精药材道地性研究[J]. 园艺与种苗, 2019, 39(4): 19-23, 26.
Wang X H, Zhao Q, Jiang C X. Study on geotherbalism of *Polygonatum* [J]. Horti Seed, 2019, 39(4): 19-23, 26.
- [3] 张文武, 童金凤, 彭甫蕾, 等. 基于非靶代谢组学的多花黄精沙藏种子萌发过程差异代谢物分析[J]. 生物资源, 2023, 45(2): 164-176.
Zhang W W, Tong J F, Peng F L, et al. Analysis of differential metabolites during germination process of *Polygonatum cyrtonema* Hua seeds in sand storage based on untargeted metabolomics [J]. Amino Acids Biotic Resour, 2023, 45(2): 164-176.
- [4] 杨兴鑫, 穆健康, 顾雯, 等. 滇黄精资源的开发应用进展及前景分析[J]. 生物资源, 2019, 41(2): 138-142.
Yang X X, Mu J K, Gu W, et al. Advances and prospect analysis on development and application of *Polygonatum kingianum* [J]. Amino Acids Biotic Resour, 2019, 41(2): 138-142.

- [5] Floden A J. Molecular phylogenetic studies of the genera of tribe Polygonateae [D]. Knoxville: The Univ of Tennessee, 2017.
- [6] Deng X Y, Wang Q, He X J, *et al.* Karyotypes of 16 populations of eight species in the genus *Polygonatum* (Asparagaceae) from China [J]. Bot J Linn Soc, 2009 (1): 7-8.
- [7] 尹建华, 杨维雄, 常晓勇. 黄精研究进展及发展建议 [J]. 种子科技, 2020, 38(7): 6-9.
- Yin J H, Yang W X, Chang X Y. Research progress and development suggestions of *Polygonatum sibiricum* [J]. Seed Sci Technol, 2020, 38(7): 6-9.
- [8] 王硕. 黄精的研究现状 [J]. 农业科技通讯, 2020(1): 46-47.
- Wang S. Research status of *Polygonatum sibiricum* [J]. Bull Agric Sci Technol, 2020(1): 46-47
- [9] Wang J J, Yang Y P, Sun H, *et al.* The biogeographic south-north divide of *Polygonatum* (Asparagaceae tribe Polygonateae) within eastern Asia and its recent dispersals in the Northern Hemisphere [J]. PLoS One, 2016, 11(11): e0166134.
- [10] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志. 第一卷 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 64-78.
- Editorial board of Chinese flora of the Chinese Academy of Sciences. Flora of China vol. 1 [M]. Beijing: Science Press, 2004: 64-78.
- [11] 王丹. 玉竹与黄精繁殖生物学研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
- Wang D. Study on reproductive biology of *Polygonatum odoratum* and *P. sibiricum* [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016.
- [12] 张泽锐. 多花黄精生殖特性与繁育栽培技术 [D]. 杭州: 浙江农林大学, 2020.
- Zhang Z R. Reproductive characteristics and breeding and cultivation technologies of *Polygonatum cyrtoneura* [D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2020.
- [13] 李立格, 张泽锐, 石艳, 等. 多花黄精生殖特性研究 [J]. 中国中药杂志, 2021, 46(5): 1079-1083.
- Li L G, Zhang Z R, Shi Y, *et al.* Investigation on reproductive characteristics of *Polygonatum cyrtoneura* [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2021, 46 (5): 1079-1083.
- [14] 刘艳, 罗敏, 秦民坚, 等. 多花黄精生殖生物学特性研究 [J]. 中国中医药信息杂志, 2017, 24(11): 71-74.
- Liu Y, Luo M, Qin M J, *et al.* Study on reproductive biology of *Polygonatum cyrtoneura* Hua [J]. Chin J Inf Tradit Chin Med, 2017, 24(11): 71-74.
- [15] 陆丽华, 张欣, 梁宗锁, 等. 黄精生殖生物学特性研究 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(25): 13687-13688.
- Lu L H, Zhang X, Liang Z S, *et al.* Study on reproductive biology of *Polygonatum sibiricum* Redoute [J]. J Anhui Agric Sci, 2010, 38(25): 13687-13688.
- [16] 斯金平, 朱玉贤. 黄精: 一种潜力巨大且不占农田的新兴优质杂粮 [J]. 中国科学(生命科学), 2021, 51(11): 1477-1484.
- Si J P, Zhu Y X. Polygonati Rhizoma: a new high-quality crop with great potential and not occupying farmland [J]. Sci Sin Vitae, 2021, 51(11): 1477-1484.
- [17] 桂杰, 林茜, 许娟, 等. 黄精栽培技术及相关研究 [J]. 南方农业, 2019, 13(11): 38-39, 45.
- Gui J, Lin Q, Xu J, *et al.* Cultivation techniques and related research of *Polygonatum sibiricum* [J]. South China Agric, 2019, 13(11): 38-39, 45.
- [18] 赵致, 庞玉新, 袁媛, 等. 药用作物黄精种子繁殖技术研究 [J]. 种子, 2005, 24(3): 11-13.
- Zhao Z, Pang Y X, Yuan Y, *et al.* Study on the seed reproduces technology of medicinal crop Rhizoma Polygonati [J]. Seed, 2005, 24(3): 11-13.
- [19] 张红瑞, 孟盼盼, 王茜, 等. 不同着生部位黄精种子的生理及萌发特性 [J]. 河南农业科学, 2021, 50(12): 56-67.
- Zhang H R, Meng P P, Wang X, *et al.* Study on physiological and germination characteristics of *Polygonatum sibiricum* seeds at different positions [J]. J Henan Agric Sci, 2021, 50(12): 56-67.
- [20] 张巧媚. 黄精种子破眠技术与成苗过程初研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- Zhang Q M. Primary studies on seeds' dormancy breaking technology & seedling growth of *Polygonatum sibiricum* Red. [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2014.
- [21] 李勇刚. 黄精生物学特性及种子休眠特性的研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
- Li Y G. Study on the biological and seed dormancy characteristics of *Polygonatum sibiricum* [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2009.
- [22] 张玉翠. 黄精种子的萌发特性及生理研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- Zhang Y C. Study on the germination characteristics and physiologies of *Polygonatum sibiricum* Red. [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2011.
- [23] 王苑, 李锦鹏, 吴冬艳, 等. 滇黄精种子的繁育特性 [J]. 江苏农业科学, 2018, 46(12): 118-121.
- Wang Y, Li J P, Wu D Y, *et al.* Study on reproductive characteristics of *Polygonatum kingianum* seeds [J]. Jiangsu Agric Sci, 2018, 46(12): 118-121.
- [24] 朱伍凤. 药用植物黄精繁育技术研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.

- Zhu W F. Study on the breeding biology of *Polygonatum sibiricum* Red. [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2013.
- [25] 王占红, 蒋花, 王瑾, 等. 不同沙藏处理对黄精种子内贮藏物质及萌发的影响[J]. 种子, 2012, 31(2): 91-93.
Wang Z H, Jiang H, Wang J, *et al.* Effect of sand storage on storage substance content and germination of *Polygonatum sibiricum* Red. seeds [J]. Seed, 2012, 31(2): 91-93.
- [26] 王宏迪. 黄精种子胚乳细胞特异结构与种子休眠相关性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
Wang H D. The relative study of seeds dormancy and the specific structure of the endosperm cells of *Rhizoma Polygonati* seeds [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2018.
- [27] 王剑龙, 常晖, 周仔莉, 等. 黄精种子萌发过程发育解剖学研究[J]. 西北植物学报, 2013, 33(8): 1584-1588.
Wang J L, Chang H, Zhou Z L, *et al.* Developmental anatomy of *Polygonatum sibiricum* Red. during the seed germination process [J]. Acta Bot Boreali Occidentalia Sin, 2013, 33(8): 1584-1588.
- [28] 张跃进, 张玉翠, 李勇刚, 等. 药用植物黄精种子休眠特性研究[J]. 植物研究, 2010, 30(6): 753-757.
Zhang Y J, Zhang Y C, Li Y G, *et al.* Seed dormant characteristics of *Polygonatum sibiricum* Red. [J]. Bull Bot Res, 2010, 30(6): 753-757.
- [29] 李勇刚. 黄精生物学特性及种子休眠特性的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
Li Y G. Study on the biological and seed dormancy characteristics of *Polygonatum sibiricum* [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2009.
- [30] 廖发娇, 伍林涛. 多花黄精种子化学成分及萌发的研究进展[J]. 种子, 2021, 40(8): 64-67.
Liao F J, Wu L T. Advances in studies on chemical constituents and germination of *Polygonatum cyrtoneura* seeds [J]. Seed, 2021, 40(8): 64-67.
- [31] 李勇刚, 季景玉, 张跃进. 黄精种子营养成分的测定与分析[J]. 西北植物学报, 2009, 29(8): 1692-1696.
Li Y G, Ji J Y, Zhang Y J. Measurement and analysis of the nutrients of *Polygonatum sibiricum* seeds [J]. Acta Bot Boreali Occidentalia Sin, 2009, 29(8): 1692-1696.
- [32] 傅飞龙, 丁自勉, 马存德, 等. 黄精种子萌发及出苗特点研究[J]. 中国现代中药, 2017, 19(8): 1151-1156.
Fu F L, Ding Z M, Ma C D, *et al.* Studies on germination and emergence characteristic of *Polygonatum sibiricum* Red seed [J]. Mod Chin Med, 2017, 19(8): 1151-1156.
- [33] 陈怡, 杨赋祺, 陈松树, 等. 多花黄精种子萌发过程的內源激素含量变化研究[J]. 中药材, 2020, 43(3): 523-527.
Chen Y, Yang F Q, Chen S S, *et al.* Study on the changes of endogenous hormones contents in *Polygonatum cyrtoneura* seed germination [J]. J Chin Med Mater, 2020, 43(3): 523-527.
- [34] 罗长琴. 渝东北地区野生黄精品质测定与安全性分析[D]. 重庆: 重庆三峡学院, 2021.
Luo C Q. Quality determination and safety analysis of wild *Polygonatum kingianum* in northeast Chongqing [D]. Chongqing: Chongqing Three Gorges University, 2021.
- [35] 安瑞朋. 中药材黄精种子萌发条件和休眠机制探究[D]. 保定: 河北农业大学, 2020.
An R P. Study on germination conditions and dormancy mechanism of Chinese medicinal material *Polygonatum sibiricum* seeds [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2020.
- [36] 傅飞龙. 黄精、多花黄精和滇黄精种子萌发及出苗特点研究[D]. 北京: 北京协和医学院, 2017.
Fu F L. Studies on the germination and emergence characteristic of *Polygonatum sibiricum* Red., *Polygonatum cyrtoneura* Hua. and *Polygonatum kingianum* Coll. et Hemsl. seeds [D]. Beijing: Peking Union Medical College, 2017.
- [37] Wang Y, Liu X Q, Su H, *et al.* The regulatory mechanism of chilling-induced dormancy transition from endodormancy to non-dormancy in *Polygonatum kingianum* Coll. et Hemsl rhizome bud [J]. Plant Mol Biol, 2019, 99(3): 205-217.
- [38] Wang Y, Bailey D C, Yin S, *et al.* Characterizing rhizome bud dormancy in *Polygonatum kingianum*: development of novel chill models and determination of dormancy release mechanisms by weighted correlation network analysis [J]. PLoS One, 2020, 15(4): e0231867.
- [39] 程秋香. 黄精种子胚乳弱化机制的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
Cheng Q X. Studies on endosperm weakening mechanism of *Polygonatum sibiricum* Red. seeds [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2016.
- [40] 陈怡, 柳雪晨, 陈松树, 等. 多花黄精种子萌发过程的形态和解剖研究[J]. 种子, 2020, 39(2): 5-10.
Chen Y, Liu X C, Chen S S, *et al.* Morphological and anatomical studies during seed germination of *Polygonatum cyrtoneura* Hua [J]. Seed, 2020, 39(2): 5-10.
- [41] 薛乾鑫, 尹鑫, 李昂, 等. 黄精种子破眠技术研究[J]. 农业科技通讯, 2021(3): 160-163.
Xue Q X, Yin X, Li A, *et al.* Study on dormancy breaking technology of *Polygonatum sibiricum* seeds

- [J]. Bull Agric Sci Technol, 2021(3): 160-163.
- [42] 曹丹. 黄精幼苗形成的生物学研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- Cao D. biological research of *Polygonatum sibiricum* seedling formation [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2015.
- [43] 张旺凡. 不同植物生长调节剂打破多花黄精种子休眠试验[J]. 中医药学报, 2008, 36(6): 43-44.
- Zhang W F. The different plant growth regulator breaks the multi-flowered sealwort seed dormancy experiment [J]. Acta Chin Med Pharmacol, 2008, 36(6): 43-44.
- [44] 刘保财, 陈菁瑛, 张武君, 等. 多花黄精种子微根茎基因表达特征分析[J]. 生物技术通报, 2023, 39(8): 220-233.
- Liu B C, Chen J Y, Zhang W J, *et al.* Characteristics analysis of seed microrhizome gene expression of *Polygonatum cyrtonema* [J]. Biotechnology Bulletin, 2023, 39(8): 220-233.
- [45] 戴惠明, 段晓婧, 何全全, 等. 菌根共生对多花黄精种子萌发的研究[J]. 浙江农业科学, 2023, 64(6): 1478-1480.
- Dai H M, Duan X J, He Q Q, *et al.* Study on mycorrhizal symbiosis on seed germination in *Polygonatum cyrtonema* [J]. J Zhejiang Agric Sci, 2023, 64(6): 1478-1480.
- [46] 岳贺伟, 李连珍, 王雨情, 等. IAA对黄精种子萌发及生理特性的影响[J]. 河南农业科学, 2023, 52(3): 64-72.
- Yue H W, Li L Z, Wang Y Q, *et al.* Effect of IAA on seed germination and physiological characteristics of *Polygonatum sibiricum* Red [J]. J Henan Agric Sci, 2023, 52(3): 64-72.
- [47] Liu R, Lu J, Xing J, *et al.* Transcriptome and metabolome analyses revealing the potential mechanism of seed germination in *Polygonatum cyrtonema* [J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 12161.
- [48] 祝明珠, 俞年军, 史素影, 等. 多花黄精种子结构与休眠及萌发的关系研究[J]. 种子, 2020, 39(3): 7-12, 19.
- Zhu M Z, Yu N J, Shi S Y, *et al.* Study on the relationship between seed structure and germination of *Polygonatum cyrtonema* Hua [J]. Seed, 2020, 39(3): 7-12, 19.
- [49] 郭坤元, 吴育中, 杨春惠, 等. 外源硒对黄精种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 分子植物育种, 2020, 18(22): 7568-7576.
- Guo K Y, Wu Y Z, Yang C H, *et al.* The effects of exogenous selenium on seed germination and seedling physiological characteristics of *Polygonatum sibiricum* Red. [J]. Mol Plant Breed, 2020, 18(22): 7568-7576.
- [50] 焦劼, 陈黎明, 张巧媚, 等. 黄精种子质量与外源生长调节物质 SNP、ETH对种子萌芽的影响[J]. 时珍国医国药, 2016, 27(5): 1211-1213.
- Jiao J, Chen L M, Zhang Q M, *et al.* Effects of seed quality and exogenous growth-regulating substances SNP and ETH on seed germination of *Polygonatum sibiricum* Red. [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2016, 27(5): 1211-1213.
- [51] 常晖, 杨祎辰, 王二欢, 等. 水盐胁迫对黄精种子萌发的影响[J]. 种子, 2018, 37(3): 32-35.
- Chang H, Yang Y C, Wang E H, *et al.* Effects of water and salt stress on seed germination of *Polygonatum sibiricum* Red. [J]. Seed, 2018, 37(3): 32-35.
- [52] 王剑龙, 常晖, 周仔莉, 等. 超声波对黄精种子萌发及萌发生理影响[J]. 种子, 2014, 33(1): 30-33.
- Wang J L, Chang H, Zhou Z L, *et al.* Effect of different-time ultrasonic wave treatment on germination of *Polygonatum sibiricum* Red. seed and seedling physiology [J]. Seed, 2014, 33(1): 30-33.
- [53] Liao D Q, An R P, Wei J H, *et al.* Transcriptome profiles revealed molecular mechanisms of alternating temperatures in breaking the epicotyl morphophysiological dormancy of *Polygonatum sibiricum* seeds [J]. BMC Plant Biology, 2021, 21(1): 370.
- [54] 党康. 黄精的种质资源和生物学特性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- Dang K. Study of idioplasmic resources and biological characteristic of *Polygonatum sibiricum* Red. [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2006.
- [55] 崔阔澍, 方清茂, 肖特, 等. 不同年龄多花黄精实生苗对其农艺性状及产量的影响[J]. 时珍国医国药, 2018, 29(1): 197-199.
- Cui K S, Fang Q M, Xiao T, *et al.* Study different age *Polygonatum cyrtonema* Hua seedlings on the agronomic characters and yield [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2018, 29(1): 197-199.
- [56] 刘佩. 黄精幼苗生长特性及成分积累研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- Liu P. Study of growth characteristics of seedlings and accumulation of ingredients of the *Polygonatum sibiricum* Red. [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2014.
- [57] 周益权, 孙伟, 刘翔, 等. 黄精种子实生苗地下部分的生长发育动态观测研究[J]. 农业与技术, 2017, 37(15): 2-4.
- Zhou Y Q, Sun W, Liu X, *et al.* Dynamic observation and study on the growth and development of underground parts of *Polygonatum sibiricum* seed seedlings [J]. Agric Technol, 2017, 37(15): 2-4.

- [58] Zhao L, Xu C, Zhou W, *et al.* Polygonati Rhizoma with the homology of medicine and food: a review of ethnopharmacology, botany, phytochemistry, pharmacology and applications [J]. J Ethnopharmacol, 2023, 309: 116296.
- [59] 石艳, 杨通广, 杨美森, 等. 大叶黄精——一种潜力巨大的食药两用作物[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(4): 1132-1135.
- Shi Y, Yang T G, Yang M S, *et al.* Polygonati Rhizoma: a crop with potential of being consumed as food and medicine [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2022, 47(4): 1132-1135.
- [60] 余蒙, 杨美森, 杨通广, 等. 大叶黄精多糖相对分子质量分布及其单糖组成的研究[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(13): 3439-3446.
- Yu M, Yang M S, Yang T G, *et al.* Relative molecular mass distribution and monosaccharide composition of polysaccharides in *Polygonatum kingianum* var. *grandifolium* [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2022, 47(13): 3439-3446.

□

(编辑: 张丽红)