

不同生育期施肥对浙贝母产量和品质的影响

周水灯¹, 孙 健², 江建铭², 邵将炜³, 邓惠敏⁴, 邵清松¹, 王志安^{1,2}

(1. 浙江农林大学 浙江省特色中药资源保护与创新利用重点实验室, 浙江 杭州 311300; 2. 浙江省中药研究所有限公司, 浙江 杭州 310023; 3. 宁波市小贝农农业科技有限公司, 浙江 宁波 315100; 4. 磐安县中药创新发展研究院, 浙江 磐安 322305)

摘要: 【目的】探究不同生育期施肥对浙贝母 *Fritillaria thunbergii* 产量和品质的影响, 指导人工栽培。【方法】2021 年 10 月在浙江杭州, 以‘浙贝 3 号’‘Zhebei 3’品种为材料, 设置缺失基肥、种肥、腊肥、苗肥、花肥的处理组和全肥、无肥的对照组, 测定不同生育期‘浙贝 3 号’植株的株高、鲜质量、叶片大小等形态指标和可溶性糖、丙二醛、抗氧化酶等生理指标。2022 年 5 月倒苗后采收鳞茎, 统计产量, 测定醇浸出物、生物碱等品质指标, 测定栽培前后‘浙贝 3 号’鳞茎大量元素氮、磷、钾的变化。【结果】相比全肥对照组, 缺失基肥、种肥、腊肥处理组的‘浙贝 3 号’产量和品质指标均无显著差异; 缺失苗肥、花肥处理组的‘浙贝 3 号’产量分别显著下降 19.15% 和 21.58% ($P < 0.05$), 贝母素甲和贝母素乙质量分数总和分别显著下降 30.76% 和 15.38% ($P < 0.05$)。相比种鳞茎, 缺失基肥、种肥、腊肥处理组的新生鳞茎中, 氮、钾质量分数显著升高 ($P < 0.05$), 磷质量分数显著降低 ($P < 0.05$); 缺失种肥、腊肥处理组的新生鳞茎中, 磷质量分数显著降低 ($P < 0.05$), 氮、钾质量分数无显著差异; 缺失苗肥、花肥处理组的新生鳞茎中, 氮、磷质量分数均显著降低 ($P < 0.05$), 钾质量分数无显著差异。【结论】基肥、种肥、腊肥缺失处理对‘浙贝 3 号’产量和品质的影响均不显著, 基肥充足条件下可适当减少出苗前施肥; 苗肥、花肥的缺失会导致‘浙贝 3 号’产量和品质显著降低, 所以在苗期、花期应当及时、足量保证适当类型肥料的供给。图 1 表 6 参 24

关键词: 浙贝母; 生育期; 施肥; 产量; 品质

中图分类号: S147.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2023)04-0756-09

Effects of fertilization at different growth stages on yield and quality of *Fritillaria thunbergii*

ZHOU Shuideng¹, SUN Jian², JIANG Jianming², SHAO Jiangwei³,
DENG Huimin⁴, SHAO Qingsong¹, WANG Zhi'an^{1,2}

(1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Resources Protection and Innovation of Traditional Chinese Medicine, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 2. Zhejiang Research Institute of Traditional Chinese Medicine Co., Ltd., Hangzhou 310023, Zhejiang, China; 3. Ningbo Xiaobeinong Agricultural Technology Co., Ltd., Ningbo 315100, Zhejiang, China; 4. Pan'an Traditional Chinese Medicine Industry Innovation and Development Institute, Pan'an 322305, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] This study explores the impact of fertilization at different growth stages on yield and

收稿日期: 2022-09-23; 修回日期: 2022-12-31

基金项目: 浙江省中药材新品种选育重大科技专项 (2021C02074-2); 浙江省磐安县中药产业“揭榜挂帅”项目 (PZYF202101); 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系资助项目 (CARS-21); 宁波科技创新 2025 重大专项 (2019B10008); 浙江省特色中药资源保护与创新利用重点实验室资助项目 (2021E10013); 浙江省药用植物种质改良与质量控制技术重点实验室资助项目 (2011E10015); 国家中医药管理局中医药科学技术研究专项项目 (GZY-KJS-2021-020)

作者简介: 周水灯 (ORCID: 0000-0003-4241-7691), 从事中药材育种研究。E-mail: 742997204@qq.com。通信作者: 王志安 (ORCID: 0000-0002-0405-188X), 教授级高级工程师, 从事中药材育种研究。E-mail: 1225922359@qq.com

quality of *Fritillaria thunbergii*, a traditional herb from Zhejiang Province, in order to provide scientific guidance in fertilizer application. [Method] The cultivar ‘Zhebei 3’ was used as the material in Hangzhou, Zhejiang Province in October 2021. Experimental groups were set up, including full fertilizer control group, no fertilizer control group and treatment groups without basal fertilizer, seed fertilizer, winter fertilizer, seedling fertilizer or flower fertilizer. The morphological and physiological indexes of ‘Zhebei 3’ at different growth stages were measured, such as plant height, fresh weight, leaf size, soluble sugar, malondialdehyde and antioxidant enzymes. In harvesting period in May 2022, the yield of bulbs was counted and the quality indexes were measured. The changes of nitrogen, phosphorus and potassium in bulbs before and after cultivation were measured. [Result] There were no significant differences in yield and quality indexes among treatment groups without basal fertilizer, seed fertilizer or winter fertilizer. The yield of ‘Zhebei 3’ in the groups without seedling fertilizer or flower fertilizer decreased by 19.15% and 21.58% ($P < 0.05$), and the total content of Peimine and Peiminine decreased by 30.76% and 15.38% ($P < 0.05$). Compared with seed bulbs, the content of nitrogen and potassium in the new bulbs of the treatment groups without basal fertilizer, seed fertilizer or winter fertilizer significantly increased ($P < 0.05$) and phosphorus content significantly decreased ($P < 0.05$). The lack of seed fertilizer or winter fertilizer significantly reduced the phosphorus content of new bulbs ($P < 0.05$), but did not affect the content of nitrogen and potassium. The lack of seedling fertilizer or flower fertilizer significantly reduced the contents of nitrogen and phosphorus in the new bulb ($P < 0.05$), but did not affect the content of potassium. [Conclusion] The deficiency of basal fertilizer, seed fertilizer or winter fertilizer has no significant effect on yield and quality of ‘Zhebei 3’. Under the condition of sufficient basal fertilizer, fertilization before seedling emergence can be appropriately reduced. The lack of seedling fertilizer or flower fertilizer will significantly decrease yield and quality of ‘Zhebei 3’, so the supply of appropriate types of fertilizer should be timely and sufficient at the seedling and flowering stages. [Ch, 1 fig. 6 tab. 24 ref.]

Key words: *Fritillaria thunbergii*; growth stages; fertilization; yield; quality

浙贝母 *Fritillaria thunbergii* 是百合科 Liliaceae 贝母属 *Fritillaria* 植物, 以地下鳞茎入药, 具有清热化痰、解毒消痈的作用, 是“浙八味”之一^[1]。浙贝母在浙江道地产区种植历史悠久, 是浙江省宁波市海曙区、金华市磐安县等地区的支柱产业^[2], 但目前浙贝母产业发展中存在农户分散种植以及过量使用化肥的现象^[3]。过度施肥会导致浙贝母的品质无法得到保证, 过量的化肥不仅增加生产成本, 还将造成水源污染、土壤板结、土传病害加重等危害, 影响种植产业的可持续发展^[4-5]。2020 年出台了浙江省地方标准《浙贝母绿色生产技术规范》^[6], 对规范浙贝母不同生育期的施肥措施起到了推进作用, 有助于保证浙贝母的高产和优质。已有研究表明: 不同类型的肥料可以导致浙贝母药材产量和品质的变化。全硝、全铵的氮肥施用均不利于浙贝母生长^[7], 重过磷酸钙比钙镁磷肥对浙贝母生长促进作用更大^[8], 钾肥能提高全株生物量积累并推迟倒苗时间, 促进增产^[9-10]。但不同生育期施肥对浙贝母产量和品质的影响还未见系统报道。鉴于此, 本研究以品种‘浙贝 3 号’‘Zhebei 3’为研究对象, 设置不同生育期减少施肥处理, 研究各生育期缺肥对浙贝母产量和品质指标的影响, 进而明确浙贝母不同生育期的需肥特征, 为实现浙贝母减肥不减产、减肥不减质的生态栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

‘浙贝 3 号’种鳞茎选自浙江省宁波市章水镇浙贝母栽培种植基地。2021 年 10 月 15 日选取质量为 (6.86 ± 0.92) g, 直径为 (2.83 ± 0.23) cm, 高度为 (2.05 ± 0.31) cm, 完好健壮的种鳞茎种在直径 25 cm, 高 25 cm 的无纺布花盆中。盆中土壤由沙土与腐殖土混合均匀, 质量比为 1:1, 每盆质量约 8 kg, 基本理化性质: pH 7.60~7.70, 全氮为 (2.50 ± 0.02) g·kg⁻¹, 有效磷为 (66.78 ± 1.33) mg·kg⁻¹, 速效钾为

(26.36±0.60) mg·kg⁻¹, 有机质为 (16.16±0.39) g·kg⁻¹。

1.2 试验设计

盆栽试验每盆均匀种4个鳞茎, 分基肥、种肥、腊肥、苗肥、花肥5个时期施肥, 依次少施1种肥料, 并设置施全肥对照和空白对照, 共7组: 组1, 缺基肥(缺失时间2021年10月15日); 组2, 缺种肥(2021年10月15日); 组3, 缺腊肥(2021年12月15日); 组4, 缺苗肥(2022年3月5日); 组5, 缺花肥(2022年3月25日); 组6, 全肥; 组7, 无肥。每组12盆。每盆施用量根据《浙贝母绿色生产技术规范》^[6]换算, ‘浙贝3号’种植行距约19 cm, 株距约19 cm, 排除沟壑田垄等占用面积, 1 hm²种鳞茎约24万株, 计算平均值得到每盆4株施肥量: 基肥(商品有机肥100 g·盆⁻¹), 种肥(商品有机肥50 g·盆⁻¹, 钙镁磷肥10 g·盆⁻¹), 腊肥(氮磷钾复合肥3 g·盆⁻¹), 苗肥(氮磷钾复合肥6 g·盆⁻¹, 硫酸钾1 g·盆⁻¹), 花肥(尿素1 g·盆⁻¹, 硫酸钾1 g·盆⁻¹)。浇水、摘花打顶等栽培管理措施按技术规范实施。有机肥(质量分数有机质≥45%, 氮磷钾≥4%), 钙镁磷肥(质量分数五氧化二磷≥12%, 氧化钙≥20%, 氧化锰≥3%, 二氧化硅≥10%, pH为7~10), 氮磷钾复合肥(质量分数氮≥15%, 五氧化二磷≥15%, 氧化钾≥15%), 尿素(氮质量分数≥46%)。

于‘浙贝3号’不同生育期天气晴朗的10:00, 选择每组中长势中等的1盆, 挖出所有单株, 测定形态指标, 分别取健康叶片和鳞茎用于测定。

1.3 指标测定

1.3.1 产量测定 5月上旬倒苗后, 挖出鳞茎, 去除残留地上部分、杂质、泥土, 洗净。统计每盆中鳞茎总鲜质量, 切片, 60℃烘干, 记录总干质量, 计算折干率。制备样品粉末, 过3号筛备用。

1.3.2 品质指标测定 醇浸出物和贝母素甲、贝母素乙检测参考郎晓平^[10]等方法。

1.3.3 物候和形态指标测定 每组以有50%单株幼苗的芽尖出土日期记为出苗时间, 以有10%单株开花日期记为始花时间, 以有50%单株主杆枯黄日期记为倒苗时间。以有单株芽尖出土到全部单株芽尖出土时间段记为出苗期, 以有单株开花到有单株主杆枯黄时间段记为花期, 出苗期到花期之间时间段记为苗期, 花期之后到采收前时间段记为倒苗期。株高为鳞茎到主杆顶部生长点长度, 叶片长宽为基部倒数第3对叶片长宽。将植株洗净擦干, 从主杆底部剪开, 去除须根, 分别称取地上部分鲜质量和地下部分鲜质量。

1.3.4 生理指标测定 叶绿素相对含量用SPAD叶绿素计测定, 每株选择顶端向下第4片叶。可溶性糖质量分数用硫酸苯酚法测定。丙二醛(MDA)质量摩尔浓度、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性根据试剂盒说明书测定。另测定鲜品含水量, 折算干质量。

1.3.5 元素指标测定 称取适量植物组织, 加浓硫酸、过氧化氢, 380℃消煮2 h, 定容至100 mL作为待测液测定氮磷钾。氮质量分数用半微量凯氏定氮法。磷质量分数用钼锑抗比色法。钾质量分数用原子吸收光谱法^[11]。

1.3.6 数据处理与统计分析 采用Excel 2016和SPSS 26.0进行数据统计分析, 运用单因素方差分析法(ANOVA)和多重比较法(Duncan)进行差异显著性分析, 运用皮尔逊法(Pearson)计算相关系数。

2 结果与分析

2.1 不同生育期施肥对浙贝母产量的影响

由表1可见: 缺基肥、种肥、腊肥处理的总鲜质量、总干质量、折干率与全肥处理相比均无显著差异; 缺苗肥、花肥处理相比全肥处理总鲜质量分别显著降低16.44%、19.08%($P<0.05$), 总干质量分别显著降低19.15%、21.58%($P<0.05$)。可见, 缺失基肥、种肥、腊肥对‘浙贝3号’鳞茎质量无显著影响, 不会造成减产; 缺失苗肥、花肥会显著降低鳞茎质量, 造成减产。

2.2 不同生育期施肥对品质指标的影响

不同施肥处理组的新生鳞茎醇浸出物质量分数为17.08%~18.24%, 均无显著差异。缺基肥、种肥、腊肥处理下, 贝母素甲与贝母素乙质量分数总量略低于全肥处理, 但均无显著差异; 缺苗肥、花肥处理相比全肥处理分别显著降低了30.76%、15.38%($P<0.05$), 其中贝母素甲质量分数分别降低了30.55%、12.96%, 贝母素乙质量分数分别降低了34.78%、26.08%($P<0.05$)(图1)。可见, 缺失基肥、种肥、腊肥

对‘浙贝 3 号’品质无显著影响，缺失苗肥、花肥会显著降低‘浙贝 3 号’生物碱质量分数，影响品质。

2.3 不同生育期施肥对物候和形态指标的影响

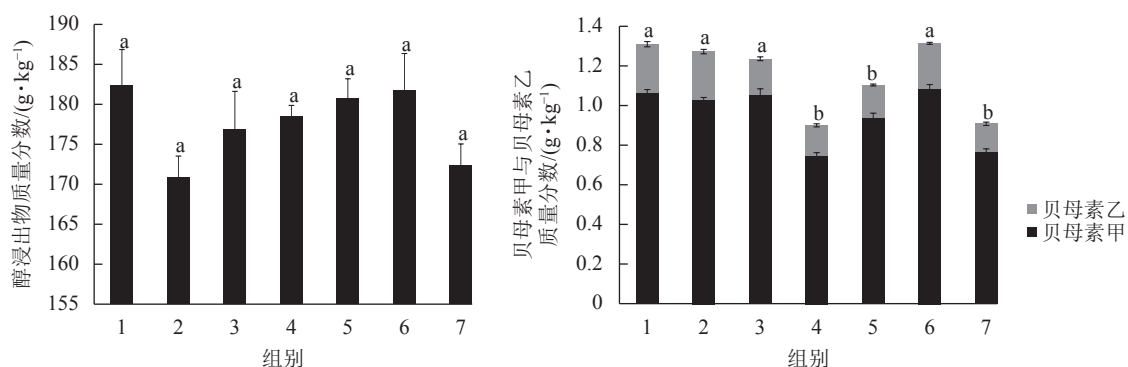
由表 2 可见：相比全肥处理，缺基肥、种肥、腊肥处理的出苗时间分别推迟 6、5、5 d，苗期株高分别显著降低了 14.5%、12.5%、10.6% ($P < 0.05$)，地上部分鲜质量分别显著降低了 29.6%、23.3%、26.4% ($P < 0.05$)。缺基肥、种肥、腊肥处理的花期株高、地上部分鲜质量略低于全肥处理，且均无显著差异。缺基肥、种肥、腊肥处理的倒苗期株高、地上部分鲜质量、地下部分鲜质量与全肥处理均无显著差异，倒苗时间分别提前 2、3、3 d。

表 1 采收期各处理组的‘浙贝 3 号’新生鳞茎产量

Table 1 Yields of newborn bulb of ‘Zhebei 3’ in different treatment groups during harvesting stage

组别	总鲜质量/g	总干质量/g	折干率/%
缺基肥	59.91±2.07 a	16.95±0.55 a	28.30±0.30 a
缺种肥	58.79±1.92 a	16.66±0.56 a	28.35±0.33 a
缺腊肥	56.99±1.36 a	16.14±0.34 a	28.32±0.20 a
缺苗肥	50.97±1.76 b	13.97±0.55 b	27.40±0.32 b
缺花肥	49.36±3.19 b	13.55±0.91 b	27.44±0.33 b
全肥	61.00±2.47 a	17.28±0.80 a	28.32±0.26 a
无肥	38.85±1.83 c	10.66±0.53 c	27.43±0.31 b

说明：数值为平均值±标准差 ($n=3$)。同列不同字母表示组间差异显著 ($P < 0.05$)。



数值为平均值±标准差 ($n=3$)。1. 缺基肥组；2. 缺种肥组；3. 缺腊肥组；4. 缺苗肥组；5. 缺花肥组；6. 全肥组；7. 无肥组。不同字母表示不同组间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 1 采收期各处理组的‘浙贝 3 号’新生鳞茎品质指标特征

Figure 1 Characteristics of quality indexes of newborn bulb of ‘Zhebei 3’ in different treatment groups during harvesting stage

表 2 不同生育期各处理组的‘浙贝 3 号’形态指标特征

Table 2 Morphological indexes of ‘Zhebei 3’ in different phenological stages in different treatment groups

物候期	组别	物候期时间(年-月-日)	株高/cm	叶片长/cm	叶片宽/cm	地上部分鲜质量/g	地下部分鲜质量/g
苗期	1	2022-02-09	8.57±0.57 b	6.31±0.82 b	1.13±0.06 b	9.27±1.46 b	4.02±0.31 a
	2	2022-02-08	8.77±0.71 b	6.42±0.98 b	1.14±0.15 b	10.10±1.56 b	4.07±0.21 a
	3	2022-02-08	8.96±0.75 b	6.43±0.51 b	1.02±0.09 b	9.68±0.42 b	4.21±0.26 a
	4	2022-02-03	10.20±1.01 a	6.83±0.35 ab	1.13±0.06 b	12.51±1.08 a	4.22±0.70 a
	5	2022-02-04	9.43±0.93 ab	6.93±0.45 a	1.27±0.06 a	11.43±3.59 ab	4.29±0.31 a
	6	2022-02-03	10.02±0.56 a	7.17±0.74 a	1.23±0.06 a	13.17±2.66 a	4.27±0.31 a
	7	2022-02-09	6.57±0.15 c	5.63±0.45 c	1.03±0.06 b	7.83±0.46 c	3.84±0.41 b
花期	1	2022-03-14	12.49±0.81 a	8.03±0.21 a	1.33±0.06 a	16.33±2.12 a	5.65±0.52 a
	2	2022-03-15	13.77±0.85 a	8.12±0.26 a	1.30±0.12 a	16.27±2.84 a	5.61±0.31 a
	3	2022-03-14	13.61±0.88 a	8.09±0.35 a	1.31±0.17 a	17.30±0.52 a	5.88±1.51 a
	4	2022-03-16	13.28±1.18 a	6.67±0.32 b	1.15±0.06 b	12.18±1.75 b	5.03±0.93 b
	5	2022-03-14	13.57±0.91 a	7.93±0.15 a	1.27±0.06 a	15.63±3.07 a	5.67±1.12 a
	6	2022-03-15	13.87±0.84 a	8.13±0.21 a	1.31±0.13 a	17.53±2.96 a	6.22±1.51 a
	7	2022-03-17	11.21±0.35 b	6.03±0.21 c	1.08±0.06 b	11.47±0.31 b	4.73±0.31 b
倒苗期	1	2022-04-16	11.82±0.59 a	10.03±0.57 a	1.70±0.23 a	12.63±2.57 b	10.37±0.35 a
	2	2022-04-15	12.71±2.10 a	9.57±1.16 a	1.57±0.21 a	15.67±2.54 a	10.47±1.76 a
	3	2022-04-15	10.93±1.59 ab	8.95±0.57 ab	1.72±0.11 a	11.37±0.81 b	10.83±1.10 a
	4	2022-04-11	10.43±1.81 b	7.57±1.10 b	1.31±0.17 b	4.22±0.98 c	8.21±0.26 b
	5	2022-04-16	10.23±1.46 b	8.37±1.07 b	1.53±0.12 a	11.67±3.31 b	8.77±0.25 b
	6	2022-04-18	11.23±0.42 a	9.37±0.83 a	1.70±0.12 a	14.37±4.80 a	11.27±1.63 a
	7	2022-04-10	10.17±0.85 b	7.79±0.61 b	1.67±0.06 a	5.02±2.36 c	6.93±0.12 c

说明：数值为平均值±标准差 ($n=3$)。1. 缺基肥组；2. 缺种肥组；3. 缺腊肥组；4. 缺苗肥组；5. 缺花肥组；6. 全肥组；7. 无肥组。同时期各列不同小写字母表示不同组间显著差异 ($P < 0.05$)。

相比全肥处理, 缺苗肥处理的苗期各项形态指标均无显著差异; 花期叶片长度降低了 17.9%、宽度降低了 12.2%, 地上部分鲜质量降低了 30.5%, 均有显著差异 ($P < 0.05$); 倒苗时间提前 7 d, 地上部分鲜质量降低了 70.6%, 地下部分鲜质量降低了 27.1%, 均有显著差异 ($P < 0.05$)。

相比全肥处理, 缺花肥处理的花期和倒苗期各项形态指标均无显著差异, 倒苗时间提前了 2 d, 可能由于在花期‘浙贝 3 号’形态生长已经完成, 地上部分受缺肥影响较小, 但是地下部分鲜质量显著降低了 22.1% ($P < 0.05$)。

2.4 不同生育期施肥对生理指标的影响

由表 3 可见: 在苗期, 缺基肥、种肥、腊肥处理的叶片可溶性糖质量分数、叶绿素相对含量显著低于全肥处理 ($P < 0.05$), 缺苗肥、花肥处理与全肥处理无显著差异。在花期, 缺基肥、种肥、腊肥、花肥处理的叶片可溶性糖质量分数、叶绿素相对含量低于全肥处理, 但无显著差异, 缺苗肥处理的叶片可溶性糖质量分数、叶绿素相对含量显著低于全肥处理 ($P < 0.05$)。在苗期和花期, 缺苗肥处理的叶片均是丙二醛质量摩尔浓度显著低于全肥处理、过氧化物酶活性显著高于全肥处理 ($P < 0.05$), 缺基肥、种肥、腊肥、花肥处理的叶片丙二醛质量摩尔浓度、过氧化物酶活性与全肥处理均无显著差异。

在苗期, 各处理组的新生鳞茎刚开始生长, 鲜质量、可溶性糖质量分数无显著差异。在花期, 缺苗肥处理的新生鳞茎鲜质量、可溶性糖质量分数最低, 与全肥处理无显著差异。在苗期和花期, 缺苗肥处理的新生鳞茎丙二醛质量摩尔浓度、过氧化物酶活性均最高, 与全肥处理均存在显著差异 ($P < 0.05$), 缺基肥、种肥、腊肥、花肥处理的新生鳞茎丙二醛质量摩尔浓度、过氧化物酶活性与全肥处理均无显著差异。

2.5 生理指标特征与产量、品质指标特征的相关性分析

由表 4 可见: 采收期鳞茎的产量、生物碱质量分数与花期叶片的叶绿素、可溶性糖、丙二醛、过氧化氢酶、超氧化物歧化酶均呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 与过氧化物酶活性呈极显著负相关 ($P < 0.01$); 与花期鳞茎的可溶性糖质量分数呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 与丙二醛质量摩尔浓度、超氧化物酶活性均呈极显著负相关 ($P < 0.01$)。可能由于花期主要为 3 月下旬至 4 月上旬, 此时气温逐渐升高, 叶片受到高温、高光照强度的胁迫, 积累一定量丙二醛, 通过提高过氧化物酶活性响应胁迫, 分解丙二醛, 保护细胞膜, 但是此时气温、光照条件更有利于叶片光合作用, 所以采收期鳞茎的产量、生物碱与叶片丙二醛呈正相关, 与过氧化氢酶活性呈负相关。

2.6 不同生育期施肥对新生鳞茎中氮磷钾质量分数的影响

由表 5 可见: 缺基肥、种肥、腊肥和全肥处理的新生鳞茎氮质量分数无显著差异, 但显著高于其他处理和种鳞茎 ($P < 0.05$)。缺基肥、全肥处理的新生鳞茎磷质量分数最高, 显著高于其他处理 ($P < 0.05$), 但仍比种鳞茎降低了约 18% ($P < 0.05$)。新生鳞茎钾质量分数除无肥组, 各处理之间无显著差异, 显著高于种鳞茎 ($P < 0.05$)。由鳞茎的大量元素积累特征和施肥时间可知: 氮的积累主要发生在苗期和花期, 磷的积累在种鳞茎萌发时就已经开始, 而鳞茎钾的积累受缺肥影响不显著, 可能是因为本研究中土壤钾质量分数能满足‘浙贝 3 号’生长发育的需要。新生鳞茎的质量普遍小于种鳞茎, 可能是因为种鳞茎在栽培过程中施肥措施或肥料种类与本研究不同, 说明磷吸收积累不足可能是限制本研究‘浙贝 3 号’鳞茎膨大的重要因素。

3 讨论

产量是药用植物生产过程中最直接的追求, 品质则是中药疗效的保证。浙贝母生育期较短, 增加施肥是人工栽培药用植物过程中提高产量和品质的重要手段, 但不合理的施肥会对产量和品质造成影响^[12-14], 同时, 也有研究表明: 生产过程中适度减少施肥有利于提升作物品质^[15-17]。

本研究发现: 出苗前缺失基肥、种肥、腊肥的处理, ‘浙贝 3 号’植株表现为出苗晚、生长发育迟缓, 但经过苗期、花期追肥, 花期植株的形态指标与全肥处理均无显著差异, 倒苗期‘浙贝 3 号’的产量和品质指标与全肥处理均无显著差异, 即可适当减少出苗前基肥、种肥、腊肥的用量。缺失苗肥、花肥的处理, 最终‘浙贝 3 号’的产量和生物碱质量分数均显著降低, 所以苗期、花期是产量、品质形成的关键时期, 不能减少施肥。

叶绿素相对含量影响植物的同化速率, 可溶性糖作为初生代谢产物, 广泛存在并参与到生物碱的合

表 3 不同生育期各处理组的‘浙贝 3 号’生理指标特征

Table 3 Characteristics of leaf and bulb physiological indexes of ‘Zhebei 3’ in different phenological stages in different treatment groups

组别	叶绿素相对含量				鳞茎鲜质量/g			
	出苗期	苗期	花期	倒苗期	出苗期	苗期	花期	倒苗期
1	36.67±1.04 b	50.32±1.84 b	55.60±1.90 a	38.96±2.24 a	6.60±1.73 a	4.02±0.31 a	5.75±0.50 a	10.37±1.35 a
2	38.53±1.75 b	52.14±1.71 b	56.20±2.06 a	34.90±1.43 a	7.07±0.91 a	4.07±0.21 a	5.81±0.31 a	10.47±1.76 a
3	36.26±0.86 b	51.03±1.47 b	55.83±1.26 a	33.45±1.36 a	6.27±1.10 a	4.21±0.26 a	5.88±1.50 a	10.83±1.10 a
4	44.16±1.98 a	54.14±1.15 a	50.86±1.38 b	11.36±0.86 c	6.93±0.74 a	4.22±0.70 a	5.03±0.93 a	6.20±0.26 b
5	42.96±1.78 a	55.60±1.90 a	60.80±1.70 a	21.93±1.21 b	6.00±0.62 a	4.29±0.31 a	5.67±1.12 a	7.77±0.25 b
6	41.43±1.66 a	55.13±1.96 a	61.23±1.52 a	36.96±1.58 a	7.10±0.98 a	4.27±0.31 a	6.22±1.51 a	11.26±1.63 a
7	36.46±1.00 b	47.55±1.68 c	48.77±1.94 b	11.20±0.89 c	6.73±0.40 a	3.84±0.40 a	4.73±0.31 b	5.93±0.12 b

组别	叶片可溶性糖质量分数/(g·kg ⁻¹)				鳞茎可溶性糖质量分数/(g·kg ⁻¹)			
	出苗期	苗期	花期	倒苗期	出苗期	苗期	花期	倒苗期
1	179.88±2.52 b	240.41±5.87 b	295.36±4.54 a	118.14±2.33 a	449.07±6.05 a	285.42±6.41 a	341.38±3.60 a	254.33±3.28 a
2	168.03±2.62 b	246.75±6.47 b	306.44±4.04 a	126.94±2.30 a	453.40±7.33 a	290.44±4.85 a	344.49±5.25 a	269.27±3.47 a
3	184.23±2.48 b	251.44±6.38 b	311.25±5.56 a	127.31±2.83 a	451.28±5.82 a	297.07±6.30 a	352.31±4.41 a	275.97±4.24 a
4	201.15±4.11 a	285.43±4.75 a	232.14±3.04 b	68.20±2.08 b	452.57±4.96 a	303.36±6.87 a	316.78±4.19 a	200.74±2.36 b
5	205.67±3.16 a	295.17±5.23 a	285.63±4.95 a	87.93±2.48 b	456.82±6.74 a	308.43±5.32 a	353.04±4.79 a	243.80±3.62 b
6	211.14±3.34 a	280.06±6.64 a	318.72±6.81 a	139.53±3.66 a	454.64±5.96 a	310.15±3.86 a	367.84±6.82 a	291.73±5.92 a
7	156.25±3.10 b	168.44±4.75 c	172.91±3.47 c	55.52±1.19 b	453.07±6.01 a	228.51±5.62 b	270.92±3.26 c	188.13±3.25 c

组别	叶片丙二醛质量摩尔浓度/(nmol·g ⁻¹)				鳞茎丙二醛质量摩尔浓度/(nmol·g ⁻¹)			
	出苗期	苗期	花期	倒苗期	出苗期	苗期	花期	倒苗期
1	714.07±12.78 b	466.12±5.55 a	529.45±8.55 a	320.35±4.39 a	36.43±1.25 a	47.46±1.45 b	53.57±0.68 b	33.86±1.12 b
2	761.60±12.12 a	452.33±6.96 a	537.11±6.32 a	290.52±6.53 a	39.17±0.78 a	45.33±0.95 b	54.83±0.95 b	38.03±1.64 b
3	748.54±15.09 a	479.50±6.84 a	541.37±7.48 a	297.21±5.18 a	37.15±1.09 a	46.27±0.98 b	55.62±0.88 b	41.30±1.25 b
4	721.13±14.69 ab	342.67±6.22 b	381.24±8.11 b	125.86±3.03 c	37.04±0.71 a	78.76±1.47 a	89.87±1.96 a	52.31±1.67 a
5	733.41±12.02 a	492.66±7.63 a	504.27±6.84 a	221.84±4.95 b	35.31±0.80 a	50.51±0.96 b	58.41±1.04 b	31.82±1.48 b
6	752.14±11.13 a	485.76±7.14 a	559.37±9.36 a	336.36±4.69 a	36.74±1.12 a	49.01±1.58 b	56.89±0.94 b	38.93±1.74 b
7	715.45±13.07 b	306.52±5.64 b	341.36±8.51 b	143.35±3.51 c	35.75±0.85 a	91.51±2.02 a	103.81±1.94 a	56.58±1.10 a

组别	叶片过氧化物酶活性/(×16.67 nkat·g ⁻¹)				鳞茎过氧化物酶活性/(×16.67 nkat·g ⁻¹)			
	出苗期	苗期	花期	倒苗期	出苗期	苗期	花期	倒苗期
1	1853.04±41.14 b	3428.67±79.58 b	3880.50±57.32 b	3122.87±71.50 b	3619.02±55.33 a	2213.13±43.64 b	2847.53±48.46 b	2215.36±55.41 b
2	2033.96±56.13 a	3541.51±73.51 b	3925.63±62.73 b	3241.25±89.35 b	3557.44±90.46 a	2193.96±77.62 b	2876.11±38.71 b	2067.57±35.66 b
3	1990.24±61.95 a	3688.14±65.77 b	4042.05±55.72 b	3098.46±53.41 b	3694.84±82.71 a	2311.14±33.45 b	2759.69±51.21 b	2133.57±60.25 b
4	2189.62±49.40 a	4169.74±64.14 a	4744.35±54.87 a	4112.76±44.17 a	3742.58±50.20 a	3578.09±46.69 a	3940.33±46.87 a	3114.54±57.05 a
5	2075.67±27.95 a	3543.68±120.37 b	3931.21±74.52 b	3647.35±47.68 b	3666.62±46.63 a	2410.03±74.02 b	2764.30±43.71 b	2258.66±33.14 b
6	2131.95±54.44 a	3774.36±64.79 b	3883.31±68.43 b	3314.21±55.88 b	3549.29±37.67 a	2294.98±77.57 b	2944.33±48.74 b	2314.54±28.41 b
7	1889.34±67.76 b	4436.78±75.35 a	5066.54±70.60 a	4364.28±68.74 a	3694.04±46.79 a	3231.13±72.29 a	3591.90±39.64 a	3041.80±39.43 a

说明：数值为平均值±标准差 (n=3)。1. 缺基肥组；2. 缺种肥组；3. 缺腊肥组；4. 缺苗肥组；5. 缺花肥组；6. 全肥组；7. 无肥组。同时期同列不同字母表示不同组别间差异显著 ($P<0.05$)。

成途径中^[18]，最终以淀粉的形式储存在鳞茎中形成产量。本研究中，缺苗肥、花肥处理会导致‘浙贝 3 号’生长发育的差异，表现为叶绿素相对含量和可溶性糖质量分数降低，倒苗期提前，最终导致产量和品质降低。而次生代谢是一个复杂的过程，初生代谢产物不足以直接影响生物碱质量分数。一定程度的胁迫使植物细胞内活性氧积累，产生大量膜脂过氧化产物丙二醛，植物通过增加过氧化物酶、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶等抗氧化酶活性，分解活性氧，防止细胞膜过氧化^[19-20]，促进物质合成更多地流向次生代谢^[21]，如遮阴条件下，重楼 *Paris polyphylla* 中重楼皂苷与丙醛、超氧化物歧化酶、过氧化物酶

表4 花期‘浙贝3号’生理指标与采收期鳞茎产量和品质指标的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of physiological indexes of ‘Zhebei 3’ in flowering stage with yield and quality indexes in harvesting stage

生育期	指标	产量	生物碱	生育期	指标	产量	生物碱
花期叶片	叶绿素	0.720**	0.694**	花期鳞茎	可溶性糖	0.892**	0.799**
	可溶性糖	0.948**	0.923**		丙二醛	-0.855**	-0.917**
	丙二醛	0.883**	0.942**		过氧化物酶	-0.601**	-0.845**
	过氧化物酶	-0.855**	-0.905**		过氧化氢酶	-0.292	0.108
	过氧化氢酶	0.652**	0.851**		超氧化物歧化酶	0.163	0.138
	超氧化物歧化酶	0.539*	0.704**				

说明: *表示显著相关($P<0.05$), **表示极显著相关($P<0.01$)。

表5 种鳞茎和采收期各处理组新生鳞茎氮磷钾质量分数

Table 5 Content of nitrogen, phosphorus and potassium in seed bulbs and newborn bulbs in different treatment groups

组别	氮/(mg·g ⁻¹)	磷/(mg·g ⁻¹)	钾/(mg·g ⁻¹)	组别	氮/(mg·g ⁻¹)	磷/(mg·g ⁻¹)	钾/(mg·g ⁻¹)
0	63.76±1.10 b	46.72±0.28 a	101.51±0.88 b	4	60.39±1.72 b	18.65±0.26 c	112.66±0.94 ab
1	91.91±0.98 a	36.33±0.22 b	124.26±1.59 a	5	62.04±0.63 b	20.02±0.30 c	116.36±2.09 a
2	98.44±0.43 a	26.13±0.23 c	117.64±1.38 a	6	96.24±1.55 a	37.99±0.59 b	126.19±0.86 a
3	90.76±1.19 a	21.40±0.14 c	123.35±1.27 a	7	61.16±1.05 b	16.51±0.17 c	99.57±0.84 b

说明: 数值为平均值±标准差($n=3$)。0. 种鳞茎; 1. 缺基肥组; 2. 缺种肥组; 3. 缺腊肥组; 4. 缺苗肥组; 5. 缺花肥组; 6. 全肥组; 7. 无肥组。不同字母表示不同组别间差异显著($P<0.05$)。

呈极显著负相关^[22]。本研究中, 同样环境条件下, 缺苗肥处理组过氧化物酶活性显著提高, 鳞茎丙二醛质量摩尔浓度显著提高, 且采收期产量、生物碱质量分数显著降低, 表明苗期缺肥会降低抗逆性, 不利于浙贝母生长发育。本研究结果与吴海平等^[23]研究毛竹 *Phyllostachys edulis* 不同部位浸提液对浙贝母生长和生理影响的结果不同, 可能是由于施肥的影响大于化感作用的影响。

‘浙贝3号’对氮肥的吸收积累从春季苗期开始, 对磷肥的吸收积累则更早, 从冬季出苗前便开始, 而对钾肥的吸收积累各时期差异不显著, 因此栽培过程中应注意调整不同时期施用肥料的元素组成^[24]。全肥处理组种鳞茎的质量高于新生鳞茎, 新生鳞茎的氮、钾质量分数显著高于种鳞茎, 新生鳞茎的磷质量分数显著低于种鳞茎, 即‘浙贝3号’对无机磷肥的吸收能力较弱, 可以尝试其他形式的磷肥, 以提高磷肥利用率。所以不同类型肥料施用对于浙贝母品质的影响需要进一步研究。

4 结论

本研究显示: 出苗前基肥、种肥、腊肥缺失处理对浙贝母鳞茎的产量、生物碱质量分数影响不显著; 苗期、花期缺肥会导致浙贝母鳞茎显著减产, 生物碱质量分数显著降低。不同生育期缺肥处理对浙贝母产量、品质的影响从大到小依次为苗肥、花肥、腊肥、种肥、基肥。综合分析, 生育前期可以适当减少施肥; 苗期和花期适当追肥有利于提高浙贝母产量, 而不影响其品质。

5 参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 304–305.
Chinese Pharmacopoeia Commission. *Pharmacopoeia of People's Republic of China: Volume I* [S]. Beijing: The Medicine Science and Technology Press of China, 2020: 304–305.
- [2] 姜娟萍, 宗侃侃, 王松琳, 等. 浙江省浙贝母生态种植模式及效益[J]. *浙江农业科学*, 2021, **62**(3): 536–537.
JIANG Juanping, ZONG Kankan, WANG Songlin, et al. Ecological planting patterns and benefits of *Fritillaria thunbergii* in Zhejiang Province [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2021, **62**(3): 536–537.
- [3] 邱子健, 申卫收, 林先贵. 化肥减量增效技术及其农学、生态环境效应[J]. *中国土壤与肥料*, 2022(4): 237–248.
QIU Zijian, SHEN Weishou, LIN Xiangui. Chemical fertilizer reduction technology and its agronomic and ecological environment effects [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2022(4): 237–248.

- [4] GEBAUER J, EL-SIDDIG K, SALIH A A, *et al.* *Tamarindus indica* L. seedlings are moderately salt tolerant when exposed to NaCl-induced salinity [J]. *Scientia Horticulturae*, 2004, **103**(1): 1 – 8.
- [5] XU Jiayang, CAI Miaomiao, LI Junling, *et al.* Physiological, biochemical and metabolomic mechanisms of mitigation of drought stress-induced tobacco growth inhibition by spermidine[J/OL]. *Industrial Crops and Products*, 2022, **181**: 114844 [2022-08-20]. doi: 10.1016/j.indcrop.2022.114844.
- [6] 浙江省市场监督管理局. 浙贝母绿色生产技术规范: DB33/T 532—2020[S]. 杭州: 浙江省市场监督管理局, 2020. Market Supervision Administration of Zhejiang Province. *Technical Regulations for Green Production of Bulbus Fritillaria thunbergii*: DB33/T 532—2020[S]. Hangzhou: Market Supervision Administration of Zhejiang Province, 2020.
- [7] 罗静, 母茂君, 王骞, 等. 不同氮素形态和浓度水平对浙贝母产量和品质的影响[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2020, **26**(16): 168 – 174.
- LUO Jing, MU Maojun, WANG Qian, *et al.* Effect of different nitrogen forms and concentrations on yield and quality of *Fritillaria thunbergii* [J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2020, **26**(16): 168 – 174.
- [8] 罗静, 文明, 王骞, 等. 不同磷源及其浓度水平对浙贝母产量和品质的影响[J]. *中药材*, 2020, **43**(8): 1818 – 1824.
- LUO Jing, WEN Ming, WANG Qian, *et al.* Effects of different phosphorus sources and the concentration levels on yield and quality of *Fritillaria thunbergii* [J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2020, **43**(8): 1818 – 1824.
- [9] SUI Ning, WANG Leran, SUN Jingyi, *et al.* Estimating *Fritillaria thunbergii* Miq. yield, quality, and potassium use efficiency in response to potassium application rate[J/OL]. *Industrial Crops and Products*, 2021, **164**: 113409 [2022-08-20]. doi: 10.1016/j.indcrop.2021.113409.
- [10] 郎晓平, 孙健, 沈晓霞, 等. 黄腐酸钾对浙贝母产量和品质的影响[J]. *中国中药杂志*, 2020, **45**(1): 72 – 77.
- LANG Xiaoping, SUN Jian, SHEN Xiaoxia, *et al.* Effects of different application amounts of potassium fulvic acid on yield and quality of *Fritillaria thunbergii* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2020, **45**(1): 72 – 77.
- [11] 李科, 李志军. 土壤农化分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2019: 86 – 98.
- LI Ke, LI Zhijun. *Soil Agrochemical Analysis*[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2019: 86 – 98.
- [12] 关佳莉, 王刚, 张梦蕊, 等. 不同氮素供应水平对菰蓝生长及药材质量的影响[J]. *核农学报*, 2019, **33**(10): 2077 – 2085.
- GUAN Jiali, WANG Gang, ZHANG Mengrui, *et al.* Effect of different nitrogen supply levels on the growth of *Isatis indigotica* Fort. and quality of medicinal materials [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2019, **33**(10): 2077 – 2085.
- [13] 盛玉章, 谢永生, 王渭玲, 等. 甘草产量及药用成分对氮磷钾肥的响应[J]. *干旱区资源与环境*, 2022, **36**(4): 134 – 141.
- SHENG Yuzhang, XIE Yongsheng, WANG Weiling, *et al.* Yield and medicinal ingredient contents of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. in response to N, P and K fertilization [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2022, **36**(4): 134 – 141.
- [14] 崔迪, 崔培章, 陈红方. 施钾对浙贝母氮磷钾吸收分配与生物碱积累的影响研究[J]. *中药材*, 2020, **43**(9): 2095 – 2098.
- CUI Di, CUI Peizhang, CHEN Hongfang. Effects of potassium application on nitrogen, phosphorus and potassium absorption and alkaloid accumulation in *Fritillaria thunbergii* [J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2020, **43**(9): 2095 – 2098.
- [15] WEI Wei, CHEN Ye, HUANG Huichuan, *et al.* Appropriate nitrogen application enhances saponin synthesis and growth mediated by optimizing root nutrient uptake ability [J]. *Journal of Ginseng Research*, 2020, **44**(4): 627 – 636.
- [16] 杜玮炜, 姚小洪, 黄宏文. 环境胁迫对雷公藤中雷公藤红素含量的影响[J]. *植物生态学报*, 2009, **33**(1): 180 – 185.
- DU Weiwei, YAO Xiaohong, HUANG Hongwen. Effects of environmental stresses on celastrol contents in *Tripterygium wilfordii* [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, **33**(1): 180 – 185.
- [17] 刘艳伟, 周潇, 韩焕豪, 等. 基于产量品质及水肥利用效率的三七水肥耦合方案优选[J]. *农业工程学报*, 2021, **39**(19): 139 – 146.
- LIU Yanwei, ZHOU Xiao, HAN Huanhao, *et al.* Coupling scheme optimization of *Panax notoginseng* considering yield, quality and water-fertilizer use efficiency [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, **39**(19): 139 – 146.
- [18] 黄鑫, 田义新, 王志清. 平贝母HMGR、FPS、DXR基因克隆及序列分析[J/OL]. *分子植物育种*, 2022-07-14 [2022-08-

- 20]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220714.1433.010.html>.
- HUANG Xin, TIAN Yixin, WANG Zhiqing. HMGR, FPS, and DXR gene cloning and sequence analysis of *Fritillaria ussuriensis* Maxim. [J/OL]. *Molecular Plant Breeding*, 2022-07-14 [2022-08-20]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220714.1433.010.html>.
- [19] HU Zhengrong, YAN Weijie, YANG Chenkai, *et al.* Integrative analysis of transcriptome and metabolome provides insights into the underlying mechanism of cold stress response and recovery in two tobacco cultivars [J/OL]. *Environmental and Experimental Botany*, 2022, **200**: 104920 [2022-08-20]. doi: 10.1016/j.envexpbot.2022.104920.
- [20] 霍宏亮, 王超, 杨祥, 等. 杜梨对盐碱胁迫的生理响应及耐盐碱性评价[J]. 植物遗传资源学报, 2022, **23**(2): 480 – 492.
- HUO Hongliang, WANG Chao, YANG Xiang, *et al.* Physiological response and saline-alkali tolerance evaluation of *Pyrus betulifolia* resources under saline-alkali stress [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2022, **23**(2): 480 – 492.
- [21] 苏文华, 张光飞, 李秀华, 等. 植物药材次生代谢产物的积累与环境的关系[J]. 中草药, 2005, **36**(9): 1415 – 1418.
- SU Wenhua, ZHANG Guangfei, LI Xiuhua, *et al.* Relationship between accumulation of secondary metabolism in medicinal plant and environmental condition [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2005, **36**(9): 1415 – 1418.
- [22] 陈文, 刘守赞, 耿东杰, 等. 遮阴对浙北地区七叶一枝花生理生化指标及皂苷含量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2022, **30**(1): 72 – 81.
- CHEN Wen, LIU Shouzan, GENG Dongjie, *et al.* Effect of shading on saponin content and biochemical indexes of *Paris polyphylla* Smith var. *chinensis* (Franch.) Hara in northern Zhejiang [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2022, **30**(1): 72 – 81.
- [23] 吴海平, 叶根华, 李伟成. 毛竹根系、新鲜枝叶、凋落物及土壤浸提液对浙贝母的化感作用[J]. 浙江农林大学学报, 2023, **40**(3): 648 – 657.
- WU Haiping, YE Genhua, LI Weicheng. Allelopathic effects of *Phyllostachys edulis* extracts on *Fritillaria thunbergia* [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2023, **40**(3): 648 – 657.
- [24] 江建铭, 俞信光, 王文静, 等. 浙贝母新品种‘浙贝3号’的选育与品种特性[J]. 中国中药杂志, 2019, **44**(3): 448 – 453.
- JIANG Jianming, YU Xinguang, WANG Wenjing, *et al.* Breeding and variety characteristics of a new variety of *Fritillaria thunbergii* ‘Zhebei 3’ [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2019, **44**(3): 448 – 453.