

网络出版时间:2017-08-21 13:50

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2017.10.014

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170821.1350.028.html>

基于组合赋权的 TOPSIS 模型在果实品质评价中的应用

叶 霜^a, 李承荧^a, 邱 霞^a, 熊 博^a, 孙国超^b, 黄胜佳^a, 荣 毅^a, 汪志辉^{a,b}

(四川农业大学 a 园艺学院, b 果蔬研究所, 四川 成都 611130)

【摘 要】【目的】建立基于组合赋权的果实品质综合评价模型,为果实品质的准确、便捷评价提供依据。【方法】综合 G1 法、CRITIC 法、熵权法得到单一果实品质指标组合权重值,再利用 TOPSIS 法构建加权矩阵,确定理想和负理想样本,计算相对接近度,建立果实品质综合评价模型,并利用该模型对不同施肥处理黄果柑的果实品质进行综合评价。【结果】在果实品质评价中,指标权重的确定是影响评价结果的关键,G1 法所得指标权重表现为糖酸比最大,其次为固酸比,横径、红绿色差、黄蓝色差的权重值相等,但低于其余指标;CRITIC-熵权法所得权重表现为可溶性固形物最大,其次为果形指数,固酸比最低;组合赋权所得指标权重排序为可溶性固形物>糖酸比>固酸比>总糖>维生素 C>单果质量>果形指数>可滴定酸>亮度>饱和度>纵径>红绿色差>黄蓝色差>横径。基于组合赋权的 TOPSIS 模型确定的果实综合品质排序与大多数单一品质指标呈正相关,不同施肥处理黄果柑果实品质与理想样本的相对接近度值为 0.308 3~0.752 1。【结论】所建立的数学模型不仅提高了果实品质指标权重的正确性,并且适用性较强,使用方便。

【关键词】 果实品质;综合评价;组合赋权;TOPSIS 法;黄果柑

【中图分类号】 S666.106⁺.2

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2017)10-0111-11

Application of combination weighting based TOPSIS model in fruit quality evaluation

YE Shuang^a, LI Chengying^a, QIU Xia^a, XIONG Bo^a, SUN Guochao^b,
HUANG Shengjia^a, Rong Yi^a, WANG Zhihui^{a,b}

(a College of Horticulture, b Institute of Pomology & Olericulture, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China)

Abstract: 【Objective】A comprehensive evaluation model of fruit quality based on combination weighting was established to provide basis for accurate and convenient evaluation of fruit quality. 【Method】G1 method, CRITIC method and entropy weight method were used to obtain the combination weight value of single fruit quality index. Then TOPSIS method was used to build weighted matrix, determine ideal and negative samples, calculate relative approach degree, and set up a comprehensive evaluation model of fruit quality. The model was used to comprehensively evaluate fruit quality of yellow citrus. 【Result】The determination of index weight was a key factor in evaluation of fruit quality. G1 method showed that the highest weight was sugar acid ratio, followed by TSS-acid ratio, while horizontal diameter, red-green chromatic aberration and yellow-blue chromatic aberration had same values. CRITIC-entropy method showed that solu-

【收稿日期】 2016-07-29

【基金项目】 四川省科技支撑计划项目(211NZ0034);四川省科技厅基金项目(10ZC1454);四川农业大学研究生社会实践与科技服务团项目(ACT201304)

【作者简介】 叶 霜(1992—),女,重庆人,在读硕士,主要从事柑橘栽培生理与技术研究。E-mail:ysys678123@163.com

【通信作者】 汪志辉(1968—),男,四川眉山人,教授,博士,博士生导师,主要从事果树栽培生理与技术研究。

E-mail:wangzhihui318@126.com

ble solid had the highest weight, followed by fruit shape index, and TSS-acid ratio was the lowest. The index weights after combination weighting were in a descending order of soluble solid>sugar acid ratio>TSS-acid ratio>total sugar>vitamin C>single fruit weight>fruit shape index>titratable acid>fruit brightness values>chroma>longitudinal diameter>red-green chromatic aberration>yellow-blue chromatic aberration>horizontal diameter. TOPSIS model determined order of fruit quality of was positively correlated with most single quality index. The relative approach degree between yellow citrus quality with ideal samples was 0.308 3—0.752 1. 【Conclusion】 The established model improved the accuracy of fruit quality weight indexes, and it was easy and convenient.

Key words: fruit quality; comprehensive evaluation; combination weighting; TOPSIS method; yellow citrus

果实品质综合评价是一个相对复杂的多因素决策过程,建立规范、可操作的果品评价体系和寻找切实有效的综合评价方法,有利于果品选优的顺利进行。目前常用于果实品质评价的方法有主成分分析法^[1]、因子分析法^[2]、聚类分析法^[3]、层次分析法^[4]、合理-满意度和多维价值理论结合法^[5]、灰色关联度法^[6]等,这些方法各具特点,适用于不同情况下的果实品质评价,但这并不意味着果实品质评价方法和理论已十分完善,事实上还有不少问题尚待解决。TOPSIS 法原理简单,计算简便,不但能充分利用原始数据信息,还可以通过加权反映不同指标的重要性。孙志超等^[7]利用 TOPSIS 法对 21 个玉米品种的产量和性状进行了评价,表明 TOPSIS 法在玉米杂交种评价中具有简单、适用的特点,能够全面、合理、准确地对不同玉米品种进行优劣排序。但目前 TOPSIS 法在果实品质评价,尤其是在鲜食水果上的相关研究还较少。

利用 TOPSIS 法对果实品质进行综合评价时,关键是品质指标的赋权。权重确定方法一般可以分为主、客观赋权法两类。主观赋权法主要依据专家的专业知识和经验对实际问题进行判断并确定权重,以最大程度地利用专家的丰富经验,但结果往往受到专家的知识结构、工作经验以及偏好等因素的影响,这类赋权法主要有层次分析法、德尔菲法、关系分析法(G1 法)等^[8-9];客观赋权法主要依据各评价指标的实际数据矩阵,通过资料数据反映的统计信息给予指标权重,权重确定的客观性强,但结果有时与实际情况不相符,难以得到公认,这类赋权方法主要有变异系数法、熵权法、CRITIC 法等^[10-11]。果实品质评价是一个复杂的多因素决策过程,单一地依赖主观或客观赋权法而得到的权重往往不全面,结合主、客观赋权法得到的指标权重更合理、科学,如吴雪等^[12]将层次分析法和熵权法相结合确定了

番茄营养品质指标的权重。

本研究将 CRITIC 法和熵权法结合后,再与 G1 法相结合得到主客观组合因子权重,然后构建加权矩阵、确定理想样本和负理想样本,最后计算样本到理想样本的相对接近度,建立果实品质综合评价模型,并用于不同施肥处理黄果柑果实品质的综合评价,旨在为其试验研究及实际生产时确定较优的施肥方案提供支持。

1 基于组合赋权的 TOPSIS 模型

1.1 确定评价矩阵

假设用 n 个指标对 m 个待评价对象进行排序,则原始数据就形成一个 m 行 n 列的矩阵,即:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: x_{ij} 为第 i 个被评价对象的第 j 项指标值,其中 $i=1,2,\cdots,m; j=1,2,\cdots,n$ 。

1.2 指标类型的一致化

果实品质指标里,常含有以下 3 种类型的指标:

(1)极大型(正向)指标。此类指标值越大越好,如果实单果质量和可溶性固形物、可溶性糖含量等。

(2)极小型(负向)指标。此类指标值越小越好,如果实可滴定酸含量。若要将此类指标转化为极大型指标,则可令:

$$x_{ij}^1 = \frac{1}{x_{ij}} \quad (2)$$

式中: x_{ij}^1 为第 i 个被评价对象的第 j 项指标转化后的值。

(3)居中型指标。此类指标值有一个取值区间,如果形指数。若要将此类指标转化为极大型指标,则可令:

$$x_{ij}^1 = \begin{cases} 2(x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} (x_{ij})), & \min_{1 \leq i \leq m} (x_{ij}) \leq x_{ij} \leq \frac{\max_{1 \leq i \leq m} (x_{ij}) + \min_{1 \leq i \leq m} (x_{ij})}{2}, \\ 2(\max_{1 \leq i \leq m} (x_{ij}) - x_{ij}), & \frac{\max_{1 \leq i \leq m} (x_{ij}) + \min_{1 \leq i \leq m} (x_{ij})}{2} \leq x_{ij} \leq \max_{1 \leq i \leq m} (x_{ij}). \end{cases} \quad (3)$$

式中： $\min_{1 \leq i \leq m} (x_{ij})$ 为指标 x_{ij} 的最小值， $\max_{1 \leq i \leq m} (x_{ij})$ 为指标 x_{ij} 的最大值。

1.3 数据无量纲化

由于被评价对象的不同指标往往具有不同的量纲,因此必须对各指标进行标准化。本研究采用功效系数法^[13]进行数据无量纲化,可滴定酸和果形指数使用指标一致化转换后的值,其公式如下:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_{1 \leq i \leq m} (x_{ij})}{\max_{1 \leq i \leq m} (x_{ij}) - \min_{1 \leq i \leq m} (x_{ij})} \times 0.4 + 0.6. \quad (4)$$

式中： y_{ij} 为指标 x_{ij} 无量纲化后的值。

1.4 因子权重的确定

1.4.1 G1 法 G1 法又称序关系分析法,是基于层次分析法又高于层次分析法的一种指标权重计算方

法,该方法简化了评价指标的评判过程,也无需进行一致性检验^[14-15],此外还能够使指标具有保序性,在实际应用中更加简便、快捷、直观、有效^[16]。G1 法的权重计算步骤如下:

(1)指标排序。确定指标体系后,请多个相关领域的专家对各个相同层级指标 $x_1^\#, x_2^\#, \dots, x_l^\#, \dots, x_{h-1}^\#, x_h^\#$, 按重要程度从高到低排序,记为 $x_1^*, x_2^*, \dots, x_l^*, \dots, x_{h-1}^*, x_h^*$, 并确定各个相同层级的相邻指标间的重要程度关系。

(2)相邻指标重要程度赋值。第 k 个指标 x_k^* 的权重记为 ω_k , 相邻指标 x_{k-1}^* 和 x_k^* 之间的相对重要程度可以用 r_k (表 1) 表示,有:

$$r_k = \omega_{k-1} / \omega_k (k = h, h - 1, \dots, 2). \quad (5)$$

表 1 r_k 的赋值及其说明
Table 1 Valuation and definition of r_k

r_k	说明 Definition	r_k	说明 Definition
1.0	指标 x_{k-1}^* 与指标 x_k^* 具有同等重要性 x_{k-1}^* and x_k^* are equally important	1.5	介于比较重要和非常重要之间 Between obviously more important and strongly more important
1.1	介于同等重要性与稍微重要之间 Between equal importance and slightly more important	1.6	指标 x_{k-1}^* 比 x_k^* 指标非常重要 x_{k-1}^* is strongly more important than x_k^*
1.2	指标 x_{k-1}^* 相比指标 x_k^* 稍微重要 x_{k-1}^* is slightly more important than x_k^*	1.7	介于非常重要和极端重要之间 Between strongly more important and absolutely more important
1.3	介于稍微重要和比较重要之间 Between slightly more important and obviously more important	1.8	指标 x_{k-1}^* 比指标 x_k^* 极端重要 x_{k-1}^* is absolutely more important than x_k^*
1.4	指标 x_{k-1}^* 比指标 x_k^* 比较重要 x_{k-1}^* is obviously more important than x_k^*		

(3)计算权重。只要计算出最后 1 个指标的权重 ω_h , 就可以通过公式(5)计算出其余指标的权重, ω_h 的计算公式如下:

$$\omega_h = 1 / [1 + \sum_{k=2}^h (\prod_{l=k}^h r_l)]. \quad (6)$$

式中： r_l 表示相邻指标 x_{l-1}^* 和 x_l^* 之间的相对重要程度。

1.4.2 基于 CRITIC 和熵权法的客观赋权

CRITIC 法是利用指标之间的对比强度和冲突性来衡量指标权重的一种客观赋权法,对比强度用指标标准差来度量,冲突性以指标间的相关性来度量,若指标间有较强的负相关性,那么他们之间的冲突性就较高^[17]。CRITIC 法的权重计算公式如下:

$$\omega_j^1 = \frac{\sigma_j \sum_{i=1}^m (1 - s_{ij})}{\sum_{j=1}^n \sigma_j \sum_{i=1}^m (1 - s_{ij})}. \quad (7)$$

式中： ω_j^1 为指标 j 的 CRITIC 法权重值, σ_j 为指标 j

的标准差, s_{ij} 为 i 与 j 的相关系数。

熵原本是一个热力学概念,最早被申农(Shannon)引入信息论,用来表示指标的离散程度,如某个指标离散程度越大,则这个指标的信息熵越小^[18]。熵值的计算公式为:

$$e_j = - \frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m (Q_{ij} \times \ln Q_{ij}). \quad (8)$$

式中： e_j 为指标 j 的熵值, Q_{ij} 为第 j 个指标下第 i 个被评价对象所占的比重, $Q_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}$ 。

其权重计算公式^[19]为:

$$\omega_j^2 = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^n (1 - e_j). \quad (9)$$

式中： ω_j^2 为指标 j 的熵权法权重值。

CRITIC 法虽兼顾了指标之间的相关性和对比度,但是并未考虑指标之间的离散程度。因此,将 CRITIC 法和熵权法相融合,可以充分考虑指标的

相关性、对比度和离散度。CRITIC 法和熵权法结合后的权重计算公式^[17]为:

$$\omega_j = \frac{(\sigma_j + e_j) \sum_{i=1}^n (1 - s_{ij})}{\sum_{j=1}^m (\sigma_j + e_j) \sum_{i=1}^n (1 - s_{ij})}。$$

(10)

式中: ω_j 为指标 j 的 CRITIC-熵权法权重值。

1.4.3 主客观组合权重 为避免单一种类赋权的

$$\bar{\omega}_j = \left[\frac{(\omega_1 \omega_1)^{0.5}}{\sum_{j=1}^n (\omega_j \omega_j)^{0.5}}, \frac{(\omega_2 \omega_2)^{0.5}}{\sum_{j=1}^n (\omega_j \omega_j)^{0.5}}, \cdots, \frac{(\omega_n \omega_n)^{0.5}}{\sum_{j=1}^n (\omega_j \omega_j)^{0.5}} \right]。$$

(11)

式中: $\bar{\omega}_j$ 为指标 j 的优化组合权重值, ω_1 为指标 1 的 G1 法权重, ω_1 为指标 1 的 CRITIC-熵权法权重值, ω_j 为指标 j 的 G1 法权重值。

1.5 构造加权评价矩阵

用 $Z = (z_{ij})_{m \times n}$ 表示加权评价矩阵,有:

$$z_{ij} = \bar{\omega}_j y_{ij}。$$

(12)

1.6 确定理想样本和负理想样本

由于已将所有指标一致化为正向指标,因此可用所有样本中各指标的最大值构成理想样本,用 Z^+ 表示;用所有样本中各指标的最小值构成负理想样本,用 Z^- 表示。即:

$$\begin{aligned} Z^+ &= (Z_1^+, Z_2^+, \cdots, Z_n^+), \\ Z^- &= (Z_1^-, Z_2^-, \cdots, Z_n^-); \\ Z_j^+ &= \max(Z_{ij}), Z_j^- = \min(Z_{ij}). \end{aligned}$$

式中: Z_j^+ 表示第 j 个指标的最大值, Z_j^- 表示第 j 个指标的最小值, $j=1,2,\cdots,n$ 。

1.7 计算距离

计算每个样本对象与理想样本和负理想样本之间的距离 D_i^+ 和 D_i^- ,有:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - Z_j^+)^2},$$

(13)

表 2 3 种肥料配方中 17 种原料的组成(质量分数)

Table 2 Composition of 17 materials in three fertilizer formulas (Mass fraction)

%

配方 Formula	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17
A	10	19.6	15.9	2.5	1	19	2	0.02	5	2	2	4	2	3	5	7	0.15
B	10	17	18.2	2.5	1	19	2	0.02	5	2	3	4	2	3	5	6.3	0.15
C	10	17	9.1	2.5	1	29	2	0.02	5	2	3	4	2	3	5	5.4	0.15

注:E1. 硫酸铵;E2. 尿素;E3. 磷酸一铵;E4. 硅钙钾肥;E5. 硝酸钾;E6. 硫酸钾;E7. 硫酸锌;E8. 钼酸铵;E9. 氨基酸;E10. 草炭;E11. 泥炭;E12. 堆肥;E13. 烟渣;E14. 青蒿;E15. 米皮;E16. 蘑菇渣;E17. XH01,1.5 mL/t。

Note:E1. Ammonium sulfate;E2. Carbamide;E3. Ammonium diacid phosphate;E4. Si-Ca-K fertilizer;E5. Potassium nitrate;E6. Potassium sulfate;E7. Zinc sulfate;E8. Ammonium molybdate;E9. Amino acid;E10. Turf;E11. Peat moss;E12. Compost;E13. Scarp;E14. Artemisia;E15. Rice pericarp;E16. Spent mushroom compost;E17. XH01,1.5 mL/t.

2.1.2 施肥方案 在四川省石棉县小水农业示范园,选取 9 年生生长势中等、树形基本相同、前期管理水平一致的黄果柑树 84 株,共设 27 个处理,以常规施肥(采果肥:农家肥 2.5 kg,复合肥($m(N) : m(P) : m(K) = 20 : 15 : 20$) 1 kg;壮果肥:复合肥

局限性,将主观和客观赋权相结合,既能体现专家的主观意向,又能反映指标的客观特性。本研究将 G1 法(主观赋权法)与结合后的 CRITIC-熵权法(客观赋权法)相组合,再用最小相对信息熵原理和拉格朗日乘法优化方法^[20],得到优化组合权重 $\bar{\omega}_j$,其计算公式为:

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - Z_j^-)^2}。$$

(14)

本研究除了考虑样本距离理想、负理想样本的远近外,还考虑到果实品质评价指标的均衡性,即只有距负理想样本远且各指标较均衡的样本才能取得最大的评价价值,因此采用样本到理想样本的相对接近度(H_i)作为评价依据^[21-22],有:

$$H_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, (i=1,2,\cdots,m)。$$

(15)

2 不同施肥处理黄果柑果实的品质评价

2.1 数据来源

2.1.1 施肥配方 供施肥料为“宝施灵”有机-无机复混肥,针对黄果柑采果期、壮果期、转色期的需肥特性制定了 A($m(N) : m(P) : m(K) = 13 : 7 : 10$)、B($m(N) : m(P) : m(K) = 12 : 8 : 10$)、C($m(N) : m(P) : m(K) = 11 : 4 : 15$) 3 种不同的肥料配方,每种配方均由 17 种原料复配而成,具体配方组成见表 2。

($m(N) : m(P) : m(K) = 15 : 5 : 26$) 1 kg;转色肥:复合肥($m(N) : m(P) : m(K) = 17 : 17 : 17$) 1 kg)为对照,以单株为 1 个小区,每处理重复 3 次。将每个施肥期的施肥量分别设置 3 个梯度:采果肥为 1.0,1.5 和 2.0 kg/株,分别计为 A_1 、 A_2 、 A_3 ;壮

果肥为 1.5,2.0 和 2.5 kg/株,分别计为 B₁、B₂、B₃; C₃。施肥时间分别为 4 月上旬(采果肥)、7 月下旬转色肥为 1.5,2.0 和 2.5 kg/株,分别计为 C₁、C₂、C₃(壮果肥)、10 月中旬(转色肥),具体施肥方案见表 3。

表 3 黄果柑采果期、壮果期、转色期的具体施肥方案

Table 3 Specific fertilization schemes at fruit picking period, fruit expanding period and color changing period of yellow citrus				kg/株			
处理 Treatment	采果肥 Fruit picking fertilizer	壮果肥 Fruit expanding fertilizer	转色肥 Color changing fertilizer	处理 Treatment	采果肥 Fruit picking fertilizer	壮果肥 Fruit expanding fertilizer	转色肥 Color changing fertilizer
A ₁ B ₁ C ₁	1.0	1.5	1.5	A ₂ B ₂ C ₃	1.5	2.0	2.5
A ₁ B ₁ C ₂	1.0	1.5	2.0	A ₂ B ₃ C ₁	1.5	2.5	1.5
A ₁ B ₁ C ₃	1.0	1.5	2.5	A ₂ B ₃ C ₂	1.5	2.5	2.0
A ₁ B ₂ C ₁	1.0	2.0	1.5	A ₂ B ₃ C ₃	1.5	2.5	2.5
A ₁ B ₂ C ₂	1.0	2.0	2.0	A ₃ B ₁ C ₁	2.0	1.5	1.5
A ₁ B ₂ C ₃	1.0	2.0	2.5	A ₃ B ₁ C ₂	2.0	1.5	2.0
A ₁ B ₃ C ₁	1.0	2.5	1.5	A ₃ B ₁ C ₃	2.0	1.5	2.5
A ₁ B ₃ C ₂	1.0	2.5	2.0	A ₃ B ₂ C ₁	2.0	2.0	1.5
A ₁ B ₃ C ₃	1.0	2.5	2.5	A ₃ B ₂ C ₂	2.0	2.0	2.0
A ₂ B ₁ C ₁	1.5	1.5	1.5	A ₃ B ₂ C ₃	2.0	2.0	2.5
A ₂ B ₁ C ₂	1.5	1.5	2.0	A ₃ B ₃ C ₁	2.0	2.5	1.5
A ₂ B ₁ C ₃	1.5	1.5	2.5	A ₃ B ₃ C ₂	2.0	2.5	2.0
A ₂ B ₂ C ₁	1.5	2.0	1.5	A ₃ B ₃ C ₃	2.0	2.5	2.5
A ₂ B ₂ C ₂	1.5	2.0	2.0	CK	3.5	1	1

2.1.3 果实品质的测定 用电子天平测定单果质量,用游标卡尺测定果实纵横径,用 CM-2600D 测色仪测定果实色泽指标 L* (亮度)、a* (红绿色差)、b* (黄蓝色差)、C(饱和度),用 TD-45 型测糖仪测定可溶性固形物(TSS)含量,用蒽酮比色法^[23]测定总糖含量,用 NaOH 中和滴定法^[24]测定可滴定酸(TA)含量,用 2,6-二氯酚酚滴定法^[24]测定维生素 C(V_C)含量。所有指标均测定 3 次,结果取平均值。

2.2 不同施肥处理黄果柑果实品质的方差分析

由表 4 和表 5 可知,不同施肥处理对黄果柑果实品质影响不一致,与对照相比品质指标有正向提高,也有负向降低。其中处理 A₂B₁C₃ 单果质量最大,为 178.36 g,显著高于对照及其他大多数处理,

但总糖含量较低,为 73.67 g/kg;其次为处理 A₃B₃C₃,单果质量为 176.66 g,横径最大,为 7.06 cm,但可溶性固形物含量显著低于 A₁B₁C₁ 等 12 个处理,且酸含量略高;处理 A₁B₁C₁ 可溶性固形物含量最高,为 118.33 g/kg,但酸含量显著高于 A₂B₁C₁ 等 21 个处理,总糖含量偏低,糖酸比也偏低;处理 A₃B₂C₂ 总糖含量最高,糖酸比最大,但可溶性固形物含量显著低于 A₁B₁C₁ 等 10 个处理,且色泽指标中等;处理 A₁B₃C₂ 固酸比最大,为 15.54,显著高于其余处理。可见,通过显著性分析,可清楚知道不同施肥处理对单一品质指标的影响,却很难准确评判果实的综合品质。

表 4 不同施肥处理黄果柑果实外观品质的比较

Table 4 Comparison of yellow citrus fruit appearance quality with different fertilization treatments								
处理 Treatment	单果质量/g Single fruit weight	纵径/cm Longitudinal diameter	横径/cm Horizontal diameter	果形指数 Fruit shape index	L*	a*	b*	C
A ₁ B ₁ C ₁	139.85 ghij	5.98 ef	6.03 f	0.99 ab	56.19 ef	30.52 abcd	56.38 d	64.11 d
A ₁ B ₁ C ₂	138.27 hij	6.14 bcdef	6.34 def	0.97 ab	55.30 f	30.06 abcdef	57.89 bcd	65.23 abcd
A ₁ B ₁ C ₃	169.15 abc	6.74 ab	6.72 abcd	1.00 ab	57.88 abcde	29.96 abcdef	60.70 abc	67.70 abcd
A ₁ B ₂ C ₁	134.12 ij	6.05 def	6.29 def	0.96 ab	58.88 ab	29.07 abcdef	60.44 abcd	67.07 abcd
A ₁ B ₂ C ₂	170.62 abc	6.61 abcd	6.75 abcd	0.98 ab	56.65 def	29.59 abcdef	60.08 abcd	66.97 abcd
A ₁ B ₂ C ₃	148.36 defghi	6.44 abcdef	6.68 abcd	0.96 ab	57.87 abcde	29.73 abcdef	59.92 abcd	66.89 abcd
A ₁ B ₃ C ₁	165.00 abcd	6.66 abc	6.45 cdef	1.03 a	58.72 abcd	29.23 abcdef	60.66 abc	67.34 abcd
A ₁ B ₃ C ₂	160.38 bcde	6.33 abcdef	6.53 bcde	0.97 ab	58.01 abcde	31.27 ab	61.33 abc	68.84 a
A ₁ B ₃ C ₃	141.80 ghij	5.95 ef	6.40 cdef	0.93 ab	56.74 cdef	29.26 abcdef	58.66 abcd	65.55 abcd
A ₂ B ₁ C ₁	142.25 fghij	6.42 abcdef	6.46 cdef	0.99 ab	59.02 a	29.48 abcdef	61.84 ab	68.50 ab
A ₂ B ₁ C ₂	157.30 cdefg	6.68 abc	6.86 abc	0.97 ab	57.95 abcde	27.83 ef	58.51 abcd	64.79 bcd
A ₂ B ₁ C ₃	178.36 a	6.85 a	6.99 ab	0.98 ab	57.98 abcde	29.47 abcdef	58.52 abcd	65.52 abcd
A ₂ B ₂ C ₁	142.20 fghij	6.28 abcdef	6.39 cdef	0.98 ab	58.09 abcde	27.47 f	58.15 abcd	64.31 d

表 4(续) Continued table 4

处理 Treatment	单果质量/g Single fruit weight	纵径/cm Longitudinal diameter	横径/cm Horizontal diameter	果形指数 Fruit shape index	L^*	a^*	b^*	C
A ₂ B ₂ C ₂	161.45 abcd	6.34 abcdef	6.75 abcd	0.94 ab	58.32 abcd	29.22 abcdef	57.46 cd	64.47 d
A ₂ B ₂ C ₃	156.77 cdefg	6.40 abcdef	6.75 abcd	0.95 ab	56.96 abcdef	30.83 abc	57.85 bcd	65.55 abc
A ₂ B ₃ C ₁	160.01 bcdef	6.37 abcdef	6.75 abcd	0.94 ab	57.00 abcde	27.95 def	58.21 abcd	64.57 cd
A ₂ B ₃ C ₂	143.12 efghij	5.95 ef	6.40 cdef	0.93 ab	58.22 abcde	28.33 cdef	58.94 abcd	65.39 abcd
A ₂ B ₃ C ₃	154.83 cdefgh	6.56 abcde	6.68 abcd	0.98 ab	57.54 abcde	28.43 cdef	59.19 abcd	65.66 abcd
A ₃ B ₁ C ₁	159.83 bcdef	6.46 abcdef	6.69 abcd	0.97 ab	58.00 abcde	29.71 abcdef	59.49 abcd	66.50 abcd
A ₃ B ₁ C ₂	161.91 abcd	6.60 abcd	6.57 bcde	1.00 ab	57.44 abcde	30.31 abcde	59.99 abcd	67.22 abcd
A ₃ B ₁ C ₃	153.83 cdefgh	6.32 abcdef	6.67 abcd	0.95 ab	56.86 bcdef	29.30 abcdef	58.52 abcd	65.45 abcd
A ₃ B ₂ C ₁	131.13 ij	5.94 f	6.40 cdef	0.93 ab	57.49 abcde	29.29 abcdef	57.72 bcd	64.72 bcd
A ₃ B ₂ C ₂	165.58 abcd	6.32 abcdef	6.59 bcde	0.96 ab	56.91 bcdef	28.94 bcdef	57.94 bcd	64.77 bcd
A ₃ B ₂ C ₃	153.42 cdefgh	6.12 cdef	6.67 abcd	0.92 b	57.70 abcde	31.57 a	60.51 abc	68.25 abc
A ₃ B ₃ C ₁	128.17 j	5.98 ef	6.15 ef	0.97 ab	57.63 abcde	29.42 abcdef	59.52 abcd	66.40 abcd
A ₃ B ₃ C ₂	161.24 abcd	6.51 abcdef	6.43 cdef	1.01 ab	57.44 abcde	29.33 abcdef	57.76 bcd	64.78 bcd
A ₃ B ₃ C ₃	176.66 ab	6.67 abc	7.06 a	0.94 ab	57.66 abcde	29.45 abcdef	59.41 abcd	66.31 abcd
CK	137.92 hij	6.14 bcdef	6.33 def	0.97 ab	58.76 abc	29.51 abcdef	62.22 a	68.86 a

注:同列数据后标不同小写字母表示各处理间差异显著($P<0.05$),下同。
Note:Small letters refer to significant difference between treatments ($P<0.05$). The same below.

表 5 不同施肥处理黄果柑果实营养和风味品质的比较

Table 5 Comparison of yellow citrus fruit nutrition and flavor quality with different fertilizer treatments

处理 Treatment	TSS/(g · kg ⁻¹)	TA /(g · kg ⁻¹)	V _C /(mg · kg ⁻¹)	总糖/(g · kg ⁻¹) Total sugar	糖酸比 Sugar acid ratio	固酸比 TSS-acid ratio
A ₁ B ₁ C ₁	118.33 a	8.94 bc	382.32 bedef	70.79 ghij	7.92 kl	13.24 f
A ₁ B ₁ C ₂	111.33 cd	9.27 a	373.13 ef	91.40 bc	9.86 efg	12.01 j
A ₁ B ₁ C ₃	111.33 cd	8.69 ef	424.37 a	89.40 cd	10.29 cde	12.81 g
A ₁ B ₂ C ₁	106.00 oghi	8.76 cde	384.25 abcdef	68.11 hij	7.77 kl	12.10 j
A ₁ B ₂ C ₂	105.30 i	8.31 hij	418.08 abc	67.63 hij	8.14 jk	12.68 gh
A ₁ B ₂ C ₃	112.00 c	8.21 ij	421.95 ab	66.87 ij	8.15 jk	13.65 e
A ₁ B ₃ C ₁	110.67 de	8.72 def	374.58 def	67.39 hij	7.73 kl	12.70 gh
A ₁ B ₃ C ₂	112.00 c	7.21 o	381.35 bcdef	91.06 bc	12.64 a	15.54 a
A ₁ B ₃ C ₃	111.33 cd	8.90 cd	387.63 abcdef	81.87 ef	9.20 fghi	12.51 ghi
A ₂ B ₁ C ₁	102.33 k	7.99 kl	383.77 abcdef	81.13 f	10.16 de	12.81 g
A ₂ B ₁ C ₂	96.33 m	6.52 p	325.77 gh	83.05 def	12.75 a	14.79 b
A ₂ B ₁ C ₃	107.00 fg	7.61 m	375.07 def	73.67 ghi	9.68 efgh	14.07 cd
A ₂ B ₂ C ₁	107.33 f	9.28 a	377.48 cdef	65.78 j	7.09 l	11.57 k
A ₂ B ₂ C ₂	111.00 cd	7.99 kl	379.90 bcdef	73.06 ghi	9.15 fghi	13.89 de
A ₂ B ₂ C ₃	106.00 ghi	7.75 m	420.98 ab	81.87 ef	10.57 cde	13.68 e
A ₂ B ₃ C ₁	103.67 j	8.42 gh	358.63 fg	66.06 j	7.85 kl	12.31 ij
A ₂ B ₃ C ₂	107.00 fg	8.73 def	371.68 ef	70.60 ghij	8.08 k	12.25 ij
A ₂ B ₃ C ₃	105.67 hi	8.46 gh	305.95 h	70.97 ghij	8.40 ijk	12.48 ghi
A ₃ B ₁ C ₁	102.67 k	8.21 ij	385.22 abcdef	73.46 ghi	8.95 hij	12.51 ghi
A ₃ B ₁ C ₂	106.67 fgh	8.38 ghi	372.17 ef	90.78 bc	10.83 bcd	12.73 gh
A ₃ B ₁ C ₃	116.33 b	9.08 b	413.73 abcde	88.13 cde	9.70 efgh	12.80 g
A ₃ B ₂ C ₁	111.67 cd	8.17 jk	416.15 abcd	81.81 ef	10.01 def	13.66 e
A ₃ B ₂ C ₂	110.00 e	7.97 l	381.83 bcdef	102.90 a	12.92 a	13.81 de
A ₃ B ₂ C ₃	104.00 j	7.31 no	350.42 fg	83.43 def	11.41 b	14.23 c
A ₃ B ₃ C ₁	106.00 ghi	8.54 fg	406.00 abcde	77.05 fg	9.02 ghi	12.41 hi
A ₃ B ₃ C ₂	111.33 cd	8.77 cde	410.35 abcde	96.68 b	11.02 bc	12.69 gh
A ₃ B ₃ C ₃	106.33 fghi	8.35 ghij	384.73 abcdef	96.30 b	11.53 b	12.73 gh
CK	101.33 l	7.43 n	371.93 ef	74.11 gh	9.98 def	13.64 e

2.3 指标权重的确定

2.3.1 G1法 (1)果实品质评价指标。根据黄果柑果实品质指标的基本性质、指标之间的相互关联

影响以及层次隶属关系,建立黄果柑果实品质评价的指标体系如图 1 所示。该评价体系分为 3 层:第 1 层目标层(S)为黄果柑果实品质综合评价模型,第

2 层准则层(T)为果实品质要素;第 3 层指标层(U)为黄果柑的具体品质指标。

(2)权重计算。从表 6 可知,专家一致认为营养品质较风味品质和外观品质重要,但对风味品质与外观品质的重要性持不同意见。外观品质中专家一

致认为单果质量、果形指数较其他指标重要,营养品质指标中可溶性固形物最重要,其次为糖含量。而在风味品质方面,多数专家认为糖酸比较固酸比重要。

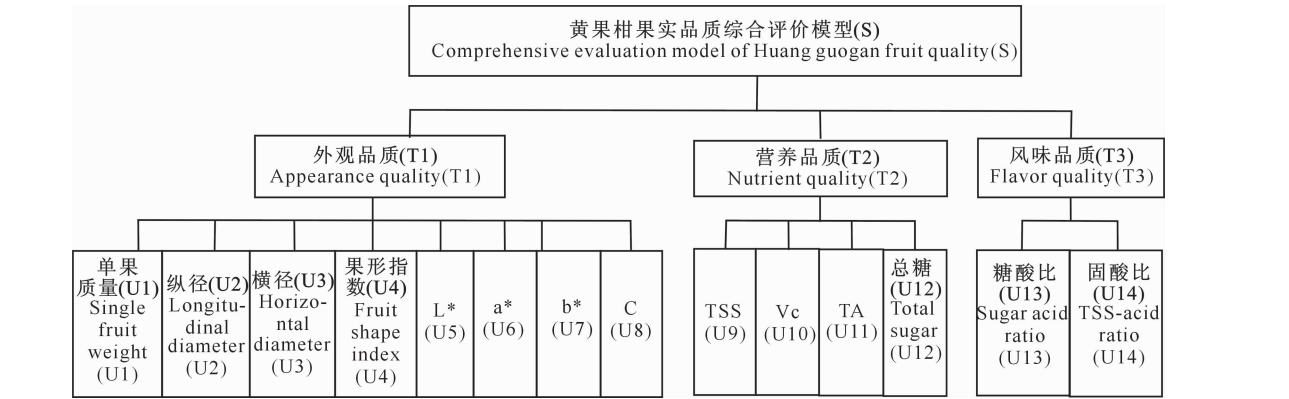


图 1 黄果柑果实品质评价的指标体系
Fig. 1 Evaluation index system of yellow citrus fruit quality

表 6 黄果柑品质要素和指标层排序及 r_k 赋值
Table 6 Yellow citrus quality element and index level order arrangement and reference of r_k

项目 Item	专家编号 Expert number	排序 Ranking	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8
品质要素 Quality elements	1	T2>T1>T3	1.3	1.1					
	2	T2>T3>T1	1.2	1.2					
	3	T2>T3>T1	1.1	1.2					
	4	T2>T3>T1	1.1	1.2					
外观品质 Appearance quality	1	U1>U4>U5>U6>U7>U8>U3>U2	1.5	1.4	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1
	2	U1>U4>U2>U3>U5>U7>U6>U8	1.5	1.2	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1
	3	U1>U4>U8>U5>U7>U6>U2>U3	1.5	1.2	1.3	1.1	1.1	1.1	1.1
	4	U1>U4>U8>U5>U2>U3>U6>U7	1.4	1.1	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2
营养品质 Internal quality	1	U9>U12>U10>U11	1.1	1.2	1.6				
	2	U9>U12>U11>U10	1.5	1.5	1.2				
	3	U9>U12>U10>U11	1.3	1.5	1.4				
	4	U9>U12>U10>U11	1.4	1.6	1.3				
风味品质 Flavor quality	1	U14>U13	1.2						
	2	U13>U14	1.2						
	3	U13>U14	1.2						
	4	U13>U14	1.3						

G1 法总权重等于各指标层(T)权重乘以对应要素层(U)权重。根据表 7 数据可以计算出黄果柑果实各品质指标的 G1 法权重值,分别为 0.070(单果质量)、0.028(纵径)、0.026(横径)、0.047(果形指数)、0.033(L^{*})、0.026(a^{*})、0.026(b^{*})、0.033(a^{*})、0.145(TSS)、0.074(V_C)、0.059(TA)、0.110(总糖)、0.171(糖酸比)、0.153(固酸比)。其中糖酸比的权重值最大,其次为固酸比;纵径、横径、a^{*}、b^{*}的权重值均较低,且权重值相差不大。

2.3.2 CRITIC 和熵权法 由表 8 可以看出,

CRITIC 赋权结果表现为果形指数权重值为 0.099,其余指标权重值相对集中,均小于 0.080;熵权法赋权结果表现为糖酸比权重值最大,其次为饱和度,TSS 权重值最小;CRITIC 法考虑了测定数据的对比强度和冲突性,熵权法考虑了数据的离散程度,为使权重值能充分反映测定数据信息,将这两种方法相结合,得到各指标权重从大到小依次表现为 TSS>果形指数>V_C>L^{*}>总糖>a^{*}=b^{*}>C(饱和度)>纵径=横径>单果质量=TA>糖酸比=固酸比。

表 7 黄果柑果实品质评价指标体系中各要素层和指标层的权重

Table 7 Weights of elements layer and index layer in the evaluation index system of yellow citrus fruit quality

要素层或指标层 Element layer or index layer	专家 Expert				平均值 Average value		要素层或指标层 Element layer or index layer	专家 Expert				平均值 Average value
	1	2	3	4				1	2	3	4	
T1	0.312	0.275	0.284	0.284	0.289		U7	0.101	0.091	0.097	0.077	0.092
T2	0.405	0.396	0.375	0.375	0.388		U8	0.092	0.075	0.139	0.146	0.113
T3	0.283	0.330	0.341	0.341	0.324		U9	0.318	0.403	0.378	0.399	0.375
U1	0.257	0.238	0.250	0.226	0.243		U10	0.241	0.149	0.194	0.178	0.191
U2	0.070	0.132	0.080	0.111	0.098		U11	0.151	0.179	0.138	0.137	0.151
U3	0.077	0.120	0.073	0.092	0.091		U12	0.290	0.269	0.290	0.285	0.283
U4	0.171	0.159	0.166	0.161	0.164		U13	0.455	0.545	0.545	0.565	0.528
U5	0.122	0.100	0.107	0.122	0.113		U14	0.545	0.455	0.455	0.435	0.472
U6	0.111	0.083	0.088	0.077	0.090							

表 8 黄果柑果实品质指标的 CRITIC 法和熵权法的权重值

Table 8 Weights of CRITIC method and entropy weight method for yellow citrus fruit quality index

赋值方法 Assignment method	单果质量 Single fruit weight	纵径 Longitudinal diameter	横径 Horizontal diameter	果形指数 Fruit shape index	L^*	a^*	b^*
CRITIC	0.069	0.075	0.060	0.099	0.069	0.062	0.066
熵权 Entropy weight method	0.076	0.094	0.054	0.089	0.047	0.055	0.061
CRITIC 和熵权 CRITIC method and entropy weight method	0.065	0.066	0.066	0.084	0.079	0.069	0.069

赋值方法 Assignment method	总糖 Total sugar	糖酸比 Sugar acid ratio	固酸比 TSS-acid ratio	C	TSS	V _c	TA
CRITIC	0.079	0.074	0.060	0.077	0.078	0.075	0.056
熵权 Entropy weight method	0.095	0.105	0.070	0.099	0.046	0.050	0.058
CRITIC 和熵权 CRITIC method and entropy weight method	0.071	0.063	0.063	0.067	0.092	0.082	0.065

2.3.3 主客观组合赋权 利用公式(11)融合主、客观权重值,结果见图 2。由图 2 可以看出,TSS 在黄果柑品质评价中最为重要,其次是糖酸比、固酸比,

接下来从大到小依次为总糖>V_c>单果质量>果形指数>TA>L*>C(饱和度)>纵径>a*=b*>横径。

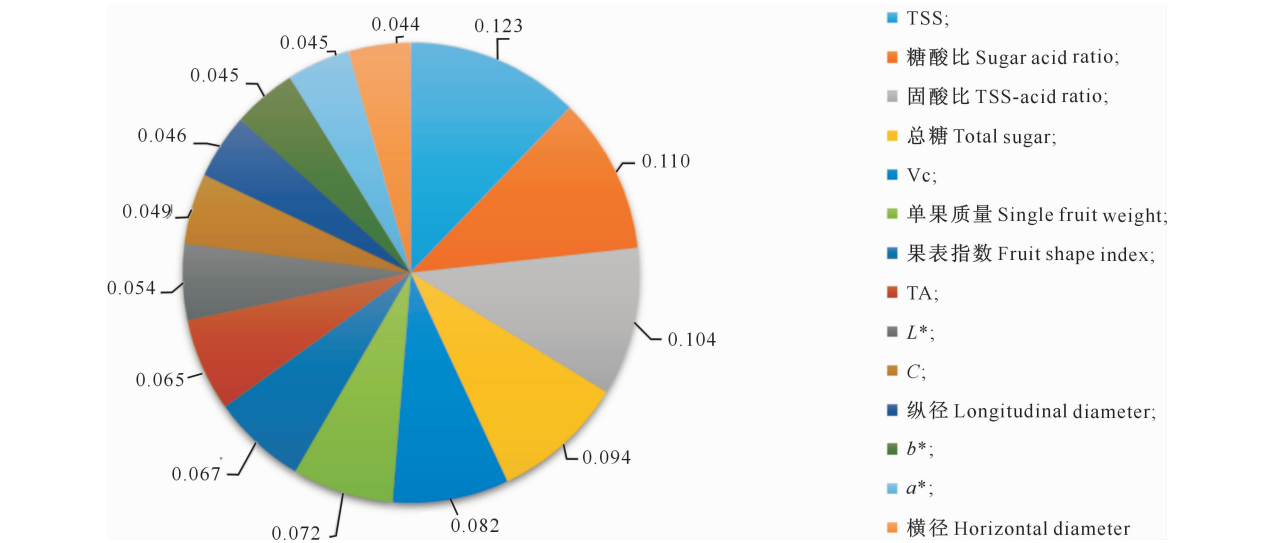


图 2 黄果柑果实品质指标的主客观组合权重值

Fig. 2 Subjective and objective combination weights of yellow citrus fruit quality index

2.4 加权评价矩阵及理想、负理想样本的确定

用公式(11)构造加权评价矩阵,即将标准化后的数据与图 2 中的权重值相乘,得到理想样本和负理想样本分别为:

$$Z^+ = [0.072, 0.046, 0.044, 0.067, 0.054, 0.045, 0.045, 0.049, 0.123, 0.082, 0.065, 0.094, 0.110, 0.104];$$
$$Z^- = [0.043, 0.028, 0.026, 0.040, 0.032, 0.027, 0.027, 0.030, 0.074, 0.049, 0.039, 0.056, 0.066, 0.062].$$

2.5 果实品质综合评价

计算各待评价样本到理想样本和负理想样本的距离 D_i^+ 、 D_i^- ,以及各样本到理想样本的相对接近度 H_i ,并根据相对接近度进行排序,结果如表 9 所示。不同施肥处理黄果柑果实品质越接近于理想

值,即 H_i 越大,表明果实综合品质越好。由表 9 可知,处理 $A_1B_3C_2$ 与理想样本的接近度最高,为 0.752 1;其次是处理 $A_3B_2C_2$,为 0.632 5,再次是处理 $A_1B_1C_3$,为 0.579 0;对照与理想样本的接近度为 0.460 3,接近度大于对照的其余 11 组处理依次(从高到低)为 $A_3B_3C_3$ 、 $A_3B_3C_2$ 、 $A_2B_1C_3$ 、 $A_2B_1C_2$ 、 $A_2B_2C_1$ 、 $A_3B_1C_3$ 、 $A_3B_2C_3$ 、 $A_3B_1C_2$ 、 $A_1B_2C_3$ 、 $A_2B_2C_2$ 和 $A_3B_2C_1$,说明这 14 个处理不同程度地提高了黄果柑果实的综合品质;另外,不同施肥方式下果实品质较对照降低的 13 组处理从高到低依次为 $A_2B_1C_1$ 、 $A_1B_2C_2$ 、 $A_1B_1C_2$ 、 $A_1B_1C_1$ 、 $A_3B_1C_1$ 、 $A_1B_3C_1$ 、 $A_1B_3C_3$ 、 $A_3B_3C_1$ 、 $A_2B_2C_1$ 、 $A_1B_2C_1$ 、 $A_2B_3C_3$ 、 $A_2B_2C_3$ 和 $A_2B_3C_2$,可见运用此评价方法可以清楚地知道每个处理对果实品质的影响效果。

表 9 不同施肥处理黄果柑果实品质的综合评价

Table 9 Comprehensive evaluation of yellow citrus fruit quality under different fertilizer treatments									
处理 Treatment	D_i^+	D_i^-	H_i	排序 Ranking	处理 Treatment	D_i^+	D_i^-	H_i	排序 Ranking
$A_1B_1C_1$	0.080 3	0.061 4	0.433 2	19	$A_2B_2C_3$	0.086 2	0.038 7	0.309 7	27
$A_1B_1C_2$	0.074 0	0.057 3	0.436 7	18	$A_2B_3C_1$	0.056 7	0.062 9	0.525 7	8
$A_1B_1C_3$	0.052 8	0.072 6	0.579 0	3	$A_2B_3C_2$	0.087 7	0.039 1	0.308 3	28
$A_1B_2C_1$	0.086 5	0.047 5	0.354 6	25	$A_2B_3C_3$	0.083 1	0.044 6	0.349 5	26
$A_1B_2C_2$	0.075 5	0.059 7	0.441 7	17	$A_3B_1C_1$	0.074 0	0.050 6	0.406 3	20
$A_1B_2C_3$	0.068 2	0.064 1	0.484 8	12	$A_3B_1C_2$	0.058 1	0.061 3	0.513 3	11
$A_1B_3C_1$	0.080 0	0.054 6	0.405 8	21	$A_3B_1C_3$	0.061 3	0.067 7	0.525 1	9
$A_1B_3C_2$	0.030 1	0.091 3	0.752 1	1	$A_3B_2C_1$	0.066 7	0.059 2	0.470 4	14
$A_1B_3C_3$	0.074 1	0.049 7	0.401 5	22	$A_3B_2C_2$	0.046 7	0.080 3	0.632 5	2
$A_2B_1C_1$	0.067 0	0.056 9	0.459 4	16	$A_3B_2C_3$	0.060 0	0.063 3	0.513 4	10
$A_2B_1C_2$	0.067 4	0.074 7	0.526 0	7	$A_3B_3C_1$	0.077 8	0.051 7	0.399 0	23
$A_2B_1C_3$	0.058 0	0.067 3	0.537 3	6	$A_3B_3C_2$	0.058 2	0.068 4	0.540 5	5
$A_2B_2C_1$	0.082 4	0.047 6	0.366 2	24	$A_3B_3C_3$	0.055 2	0.070 5	0.560 7	4
$A_2B_2C_2$	0.064 5	0.057 8	0.472 7	13	CK	0.068 6	0.058 6	0.460 3	15

将用 TOPSIS 法得到的不同施肥处理黄果柑果实的综合品质排序与单一品质排序进行 Spearman 相关性分析,结果见表 10。由表 10 可知,综合品质排序与大多数单一品质指标呈正相关,其中与总糖、糖酸比、固酸比和 a^* 值呈极显著正相关,与单果质

量、可滴定酸含量呈显著正相关,可见采用 TOPSIS 法确定的黄果柑综合品质排序与大多数单一品质指标确定的排序结果基本一致,说明基于主客观组合赋权的 TOPSIS 模型完全可以用于果实综合品质的评价。

表 10 不同施肥处理黄果柑果实单一品质指标与 H_i 的相关性

Table 10 Correlation between single quality index and H_i of yellow citrus fruit under different fertilization treatments					
品质指标 Quality index	与 H_i 相关性 Correlation with H_i	品质指标 Quality index	与 H_i 相关性 Correlation with H_i	品质指标 Quality index	与 H_i 相关性 Correlation with H_i
单果质量 Single fruit weight	0.463 *	a^*	0.532 * *	TA	0.447 *
纵径 Longitudinal diameter	0.344	b^*	0.136	总糖 Total sugar	0.728 * *
横径 Horizontal diameter	0.336	C	0.276	糖酸比 Sugar acid ratio	0.829 * *
果形指数 Fruit shape index	0.095	TSS	0.209	固酸比 TSS-acid ratio	0.705 * *
L^*	-0.121	V_C	0.246		

注:数字后标“*”表示显著相关($P<0.05$),数字后标“* *”表示极显著相关($P<0.01$)。
Note:“*” indicates significant correlation($P<0.05$),“* *” indicates extremely significant correlation($P<0.01$).

3 讨论与结论

徐小万等^[25]利用 PCA-TOPSIS 法对不同辣椒品种现蕾期耐高温多湿性进行了评价和分类,将 10 个品种分成了 4 类,综合评价结果与田间实际情况基本一致,确定 PCA-TOPSIS 法是一种筛选鉴定耐热耐湿辣椒种质资源的较好方法。有学者在酸枣上的研究表明,TOPSIS 法是一种有效的排序方法,可以有效地应用于酸枣果实品质和总抗氧化剂含量的评价^[26]。陈贤等^[27]应用 AHP 法和 TOPSIS 法构建了番茄果实商品性状综合评价模型,将 7 个番茄品系划分为 3 个层次。本研究利用 G1 法和 CRITIC-熵权法赋权的 TOPSIS 模型对不同施肥处理的黄果柑果实品质进行优劣排序,表明此评价模型适用于果实品质评价,在本试验条件下,施用采果肥 1.0 kg、壮果肥 2.5 kg、转色肥 2.0 kg 时,黄果柑果实综合品质可以达到最佳。

TOPSIS 法计算过程简便,不但可以直接套用公式,而且便于计算机编程操作,可克服大量繁琐数据计算的不足,但评价过程中权重的确定是影响评价结果的关键因素。果实品质评价需要基于专家的专业知识和经验,也需要考虑各品质评价指标实测数据所反映的信息来赋予权重,才能更好完成果实品质的评价。有学者^[28]利用博弈论将 AHP 法和熵权法组合,并应用于确定番茄品质指标权重,表明组合赋权法所得结果更为合理。本研究采用 G1 法和 CRITIC-熵权法进行组合赋权,既考虑了决策者的主观偏好,也充分考虑了各品质评价指标之间的对比强度、冲突性和离散程度,果实品质单一指标权重表现为 $TSS>糖酸比>固酸比>总糖>V_c>单果质量>果形指数>TA>L^*>C(饱和度)>纵径>a^*=b^*>横径$ 。

本研究结果表明,基于 G1 法和 CRITIC-熵权法赋权的 TOPSIS 模型简单易行,适用于果实综合品质评价,在今后的研究中可继续完善评价指标体系,例如将果实加工品质、贮藏品质等结合起来,建立更加全面、科学的果实综合品质评价模型。此外,也可将此方法应用于类似多指标多方案问题的评价。

[参考文献]

[1] 靳志飞,杨家全,陈红,等. 八个贵州地方桃品种果实甜酸风味品质分析[J]. 植物科学学报,2015,33(1):90-97.
Jin Z F, Yang J Q, Chen H, et al. Analysis of sweet and sour flavor in eight local peach cultivars from Guizhou and evaluation of their flavor quality [J]. Plant Science Journal, 2015, 33

(1):90-97.
[2] 马庆华,李永红,梁丽松,等. 冬枣优良单株果实品质的因子分析与综合分析[J]. 中国农业科学,2010,43(12):2491-2499.
Ma Q H, Li Y H, Liang L S, et al. Factor analysis and synthetic evaluation of the fruit quality of Dongzao (*Ziziphus jujuba* Mill. ‘Dongzao’) advanced selections [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(12):2491-2499.
[3] 公丽艳,孟宪军,刘乃侨,等. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J]. 农业工程学报,2014,30(13):276-285.
Gong L Y, Meng X J, Liu N Q, et al. Evaluation of apple quality based on principal component and hierarchical cluster analysis [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(13):276-285.
[4] 刘遵春,包东娥,廖明安. 层次分析法在金花梨果实品质评价上的应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(8):125-128.
Liu Z C, Bao D E, Liao M A. Application of analytic hierarchy process in evaluating Jinhua pear quality [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Sciences Edition), 2006, 34(8):125-128.
[5] 阿依古丽·铁木儿,玉素甫·阿不力提甫,帕提曼·阿布都热合曼,等. 新疆主要栽培梨品种果实品质分析与评价[J]. 新疆农业科学,2014,51(3):417-422.
Ayiguli Tiemuer, Yusufu Abulitifu, Patiman Abudurehman, et al. Analysis and evaluation on of fruit quality of main pear varieties in Xinjiang [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2014, 51(3):417-422.
[6] 焦艺,刘璇,毕金峰,等. 基于灰色关联度和层次分析法的油桃果汁品质评价[J]. 中国食品学报,2014,14(12):154-163.
Jiao Y, Liu X, Bi J F, et al. Quality evaluation of nectarine juice based on grey interconnect degree analysis and analytic hierarchy process [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2014, 14(12):154-163.
[7] 孙志超,荆绍凌,刘文国. TOPSIS 法在玉米杂交种综合评价中的应用[J]. 玉米科学,2006,14(5):49-51,55.
Sun Z C, Jing S L, Liu W G. The comprehensive evaluation of hybrid corn based on TOPSIS [J]. Journal of Maize Sciences, 2006, 14(5):49-51,55.
[8] 张万琴,刘遵春,包东娥,等. 数学模型在金花梨果实品质评价上的应用[J]. 西北农业学报,2006,15(4):188-191.
Zhang W Q, Liu Z C, Bao D E, et al. Application of mathematical model in the evaluation of Jinhua pear quality [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2006, 15(4):188-191.
[9] 王佩. 水资源合理配置指标权重研究[D]. 河北邯郸:河北工程大学,2015:21-28.
Wang P. Study on the index weight of rational allocation of water resources [D]. Handan, Hebei: Hebei University of Engineering, 2015:21-28.
[10] 司朝霞,张合兵,陈宁丽. 基于变异系数法的河南省耕地可持续利用评价[J]. 湖北农业科学,2015,54(8):2028-2031.
Si C X, Zhang H B, Chen N L. Evaluation of cultivated land sustainable use in Henan Province based on Variance Coeffi-

- cient Method [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2015, 54(8): 2028-2031.
- [11] 王 瑛, 蒋晓东, 张 璐. 基于改进的 CRITIC 法和云模型的科技奖励评价研究 [J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2014, 41(4): 118-124.
- Wang Y, Jiang X D, Zhang L. Research on the evaluation of science and technological awards based on improved CRITIC method and cloud model [J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences Edition), 2014, 41(4): 118-124.
- [12] 吴 雪, 陈 思, 周振江, 等. 番茄综合营养品质对各阶段土壤含水率的响应 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(3): 52-62.
- Wu X, Chen S, Zhou Z J, et al. Response of comprehensive nutritional quality of tomato to soil moisture at different stages [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Sciences Edition), 2016, 44(3): 52-62.
- [13] 褚淑贞, 朱艳梅, 陈妍彦. 基于熵权法的连锁药店综合竞争力评价 [J]. 中国药房, 2013, 24(17): 1630-1632.
- Zhu S Z, Zhu Y M, Chen Y Y. Evaluation of the comprehensive competitiveness of chain pharmacies based on the Entropy Method [J]. China Pharmacy, 2013, 24(17): 1630-1632.
- [14] Qu J H, Meng X L, Qi H, et al. A novel two-stage evaluation system based on a Group-G1 approach to identify appropriate emergency treatment technology schemes in sudden water source pollution accidents [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23: 2789-2801.
- [15] Ruan C Y, Yang J H. Software quality evaluation model based on weighted mutation rate correction incompleteness G1 combination weights [J]. Math Probl Eng, 2014, 12: 1-9.
- [16] 边志远. 基于“S”件的五轴数控机床加工精度综合评价系统研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
- Bian Z Y. Research on comprehensive evaluation system of processing properties for Five-axis CNC machine tool based on the “S”-Shaped test piece [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2015.
- [17] 宋冬梅, 刘春晓, 沈 晨, 等. 基于主客观赋权法的多目标属性决策方法 [J]. 山东大学学报(工学版), 2015, 45(4): 1-9.
- Song D M, Liu C X, Shen C, et al. Multiple objective and attribute decision making based on the subjective and objective weighting [J]. Journal of Shandong University (Engineering Science Edition), 2015, 45(4): 1-9.
- [18] 李 满, 李世峰, 欧阳映鸿. 基于熵权法的涿鹿县现代农业发展水平评价分析 [J]. 中国农业大学学报, 2014, 19(5): 236-243.
- Li M, Li S F, Ouyang Y H. Evaluation on the development level of modern agriculture of Zhoulu County based on entropy weight [J]. Journal of China Agricultural University, 2014, 19(5): 236-243.
- [19] 虞 娜, 吴昌娟, 张玉玲, 等. 基于熵权的 TOPSIS 模型在保护地番茄水肥评价中的应用 [J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(4): 456-460.
- Yu N, Wu C J, Zhang Y L, et al. Application of TOPSIS model method based on Entropy Weight to evaluate coupling effect of irrigation and fertilization of greenhouse tomato [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2012, 43(4): 456-460.
- [20] 梁富山. 基于层次分析法和熵权法的税收风险管理: 某市营利性医疗机构 2012 年数据的实证研究 [J]. 广西财经学院学报, 2014, 27(2): 34-42.
- Liang F S. Tax risk management based on the analytic Hierarchy Process and Entropy Method: empirical research on the data of 2012 in a city's for-profit medical institutions [J]. Journal of Guangxi University of Finance and Economics, 2014, 27(2): 34-42.
- [21] 李 想, 黄 胜, 张修远. 应用改进 TOPSIS 法的舰船气流场方案评价 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2016, 48(4): 133-138.
- Li X, Huang S, Zhang X Y. Evaluation of airflow on warship deck based on improved TOPSIS method [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2016, 48(4): 133-138.
- [22] Wang F, Kang S Z, Du T S, et al. Determination of comprehensive quality index for tomato and its response to different irrigation treatments [J]. Agriculture Water Management, 2011, 98(8): 1228-1238.
- [23] 郑炳松. 现代植物生理生化研究技术 [M]. 北京: 气象出版社, 2006: 100-101.
- Zheng B S. Modern plant physiological and biochemical research techniques [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2006: 100-101.
- [24] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 28-37.
- Cao J K, Jiang W B, Zhao Y M. Fruits and vegetables postharvest physiological and biochemical experiment instruction [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 28-37.
- [25] 徐小万, 雷建军, 李 颖, 等. 现蕾期辣椒耐高温多湿性 CA-TOPSIS 综合评定 [J]. 热带作物学报, 2013, 34(9): 1747-1751.
- Xu X W, Lei J J, Li Y, et al. Comprehensive evaluation for high temperature and humidity resistance in pepper (*Capsicum annuum* L.) budding [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2013, 34(9): 1747-1751.
- [26] Sun Y F, Liang Z S, Shan C J, et al. Comprehensive evaluation of natural antioxidants and antioxidant potentials in *Ziziphus jujuba* Mill. var. Hu ex H. F. Chou fruits based on geographical origin by TOPSIS method [J]. Food Chemistry, 2011, 124: 1612-1619.
- [27] 陈 贤, 杨荣萍, 赵 雁, 等. 运用层次分析法和排序法综合评价番茄果实商品性 [J]. 贵州农业科学, 2008, 36(6): 135-138.
- Chen X, Yang R P, Zhao Y, et al. Comprehensive evaluation on commerciality of tomato fruits by using AHP and TOPSIS [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2008, 36(6): 135-138.
- [28] 吴 雪, 王坤元, 牛晓丽, 等. 番茄综合营养品质指标构建及其对水肥供应的响应 [J]. 农业工程学报, 2014, 30(7): 119-127.
- Wu X, Wang K Y, Niu X L, et al. Construction of comprehensive nutritional quality index for tomato and its response to water and fertilizer supply [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(7): 119-127.

网络出版时间:2017-08-21 13:50

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2017.10.015

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170821.1350.030.html

西藏野生宽叶韭的繁育更新特性研究

王忠红¹,王陆州¹,关志华¹,陈双臣^{1,2}

(1 西藏农牧学院,西藏 林芝 860000;2 河南科技大学 林学院,河南 洛阳 471003)

【摘要】【目的】明确西藏野生宽叶韭的繁育更新特性。【方法】通过实地观察,分析宽叶韭的无性繁殖及开花结实特性,测定宽叶韭种子的形态特征、吸水与发芽规律;以温度(4,10,15,17.5,20,22.5,25,30,35,40℃)和贮藏时间(14个月和2个月)为考察因素,研究其对宽叶韭种子发芽率的影响。【结果】(1)西藏野生宽叶韭为冬季倒苗型,可分蘖无性繁殖和种子有性繁殖;(2)开花结实期为8—10月份,平均每花序有小花56.33个,开放授粉下小花结实率98.72%,每小花结籽1~4粒不等,结1粒种子的小花占83.48%,结2粒种子的占15.42%,结3~4粒种子的极少;套袋自交下小花结实率18.35%,每小花有种子1~5粒不等,结1粒种子的小花占73.17%,结2粒种子的占23.78%,结3~5粒种子的极少;(3)种子椭圆形,横径1.93mm,纵径3.41mm,百粒质量0.9877g;(4)在20℃恒温下浸种以4h为宜,最长不超过30h,否则种子内含物大量外渗,可能影响种子发芽;(5)种子常温下贮藏1年以后发芽率急剧下降,短期贮藏(2个月)对发芽率无影响,发芽适温为15~25℃,长期置于10℃下也能达到很好的发芽效果。【结论】西藏野生宽叶韭具有性和无性2种繁殖方式,开放授粉和套袋自交均能结籽,种子发芽适温为15~25℃。

【关键词】 宽叶韭;分蘖繁殖;开花结实;种子特性;吸水规律

【中图分类号】 S633.3

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2017)10-0122-07

Reproductive development characteristics of Tibetan wild *Allium hookeri* Thwaites

WANG Zhonghong¹, WANG Luzhou¹, GUAN Zhihua¹, CHEN Shuangchen^{1,2}

(1 Xizang Agriculture and Animal Husbandry College, Linzhi, Xizang 860000, China;

2 College of Forestry, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China)

Abstract:【Objective】This paper explored the reproductive development and seed characteristics of Tibetan wild *Allium hookeri* Thwaites. 【Method】Through field observation, asexual reproduction, flowering characteristics, morphological characteristics, water absorption and seed germination of *A. hookeri* were examined. Effects of temperature (4, 10, 15, 17.5, 20, 22.5, 25, 30, 35, and 40℃) and storage time (14 months and 2 months) on germination rate of *A. hookeri* seeds were also investigated. 【Result】(1) Tibetan wild *A. hookeri* withered during the winter, and reproduced asexually by tillering and sexual reproduction through seeds. (2) The flowering and fruiting period was from August to October. There were 56.33 flowers per inflorescence with setting rate of 98.72% in open pollination status. There were 1 to 4 seeds per flower, 83.48% with 1 seed, 15.42% with 2 seeds, and very small amount with 3—4 seeds. The setting percentage was 18.35% with bagged self-pollination method. There were 1 to 5 seeds per flower, 73.17% with

【收稿日期】 2016-05-04

【基金项目】 国家自然科学基金项目(31260478);西藏农牧学院柔性人才引进项目(RXR201506)

【作者简介】 王忠红(1980—),男,宁夏西吉人,副教授,硕士,主要从事园艺植物种质资源创新利用研究。
E-mail:wzhong2008bj@126.com

【通信作者】 关志华(1981—),女,陕西宝鸡人,副教授,硕士,主要从事园艺植物种质资源创新利用研究。
E-mail:applezhuhua@126.com

1 seed, 23.78% with 2 seeds, and very small amount with 3—5 seeds. (3) The seeds were oval, and the transverse and longitudinal diameters were 1.93 mm and 3.41 mm, respectively. The weight per 100 seeds was 0.987 7 g. (4) Optimum duration for seed presoaking at 20 °C was 4 hours. The maximum time for seed presoaking should not exceed 30 hours, otherwise the hydroquinone extracts would infiltrate and seed germination was affected. (5) Germination rate declined sharply after 1 year in storage at normal temperature, while short-term storage for no more than 2 months had no significant effect. The optimum germination temperature was 15—25 °C, and storage at 10 °C for a long time also had highly positive effect on germination. 【Conclusion】 Tibetan wild *A. hookeri* can propagate both sexually and asexually. Both cross pollination and selfing through bagging can produce seeds. Optimum temperature for germination is 15 to 25 °C.

Key words: *Allium hookeri*; tillering reproduction; flowering; seed characteristics; water absorption rule

宽叶韭 (*Allium hookeri* Thwaites) 是百合科 (Liliaceae) 葱属 (*Allium*) 粗根组 (sect Bromatorrhiza) 植物, 分布于中国四川、云南 (西北部) 和西藏 (东南部), 以及斯里兰卡、不丹和印度的北部, 生于海拔 1 500~4 000 m 的湿润山坡或林下^[1]。在我国南方的一些地区特别是云南和四川常栽培作为蔬菜食用^[1-3], 在西藏是产地农牧民的特色蔬菜, 食用历史悠久, 食法多样。研究表明, 宽叶韭具有二倍体、三倍体及四倍体居群^[3-5], 且在 7 个二倍体居群中发现花粉母细胞减数分裂时染色体不能正常配对, 因此虽能开花却不结实^[3-4, 6-7], 只能靠无性繁殖扩大居群^[3-4, 7]。而同工酶谱分析表明, 二倍体和三倍体宽叶韭在种内可分化为冬季倒苗和不倒苗两个类型^[7-8]。本研究对采自西藏南部的宽叶韭进行连续 2 年多的观察发现, 其冬季地上部枯萎, 春季气温充分回升后返青, 比当地其他草本植物返青要晚, 能够正常开花结实, 种子具有正常发芽能力, 这与已有文献报道不一致, 因此推测可能是已有研究未曾涉及到的独特居群。基于此, 在前人研究基础上, 本研究对产于西藏南部的野生宽叶韭居群 (核型分析表明为四倍体) 的繁衍更新特性进行系统分析, 为后期开展其开花结实机理的深入研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

2013 年 8 月初将生长于林缘生境、海拔 2 541 m 的野生宽叶韭植株, 采挖移栽于海拔 2 997 m 的西藏农牧学院资源圃内, 圃地土质为比较肥沃的沙壤土。在采挖野生植株时观察其株体形态, 移栽后于 2014 年和 2015 年观察其分蘖繁殖情况。

1.2 开花结实特性研究

于 2014 年 8 月中旬初花期, 选择 5 株宽叶韭套

袋初步观察自交结实情况; 当年 10 月底早霜后收获开放授粉种子, 自然风干室温贮藏, 备用。于 2015 年 8 月中旬初花期, 继续选择 15 个宽叶韭花序套袋, 同时在开放授粉植株上随机选择 15 个花序, 在 10 月底早霜后分别单收考种。其他花序混收, 自然风干室温贮藏, 备用。

1.3 种子特性指标测定

2015 年 12 月—2016 年 2 月, 对 2015 年采收的宽叶韭种子, 测试含水量、百粒质量、纵横径、吸水与内含物外渗规律等指标。含水量重复测 6 次, 每重复 30 粒种子, 用万分之一天平称取自然风干种子质量 (w_1) 后置于 105 °C 下烘干至恒质量 (w_2), 计算公式为: 含水量 = $(w_1 - w_2) / w_1 \times 100\%$ 。

百粒质量重复测 30 次, 用万分之一天平量取。

随机选取 45 粒种子, 用数显游标卡尺测定纵横径。

吸水与内含物外渗规律重复测 5 次, 分为两组进行, 一组测吸水量, 另一组测电导率。每重复选用饱满一致的 30 粒种子置于 20 mL 蒸馏水中在 20 °C 恒温下进行。在预试验基础上, 吸水量分别在 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 26, 34, 44, 56, 70, 86, 104, 124 h 测定; 电导率分别在 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 14, 18, 24, 30, 38, 48, 60, 74, 90, 108, 128, 152, 176 h 测定。每次测吸水量前用吸水纸将种子表皮水分吸干, 然后用万分之一天平测定, 计算公式为: 吸水量 = $(w_i - w_0) / w_0 \times 100\%$ 。式中, w_0 为吸水前自然风干种子质量, w_i 为吸水不同时间后的种子质量。电导率用电导率仪 (DDB-303A) 测定, 测量档位 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 为避免因水分蒸发引起体积减少进而影响电导率值, 每次测量前用称重补水法保持测试液体积恒定。

1.4 种子发芽试验

同时选择 2014 年和 2015 年采收的饱满种子进行发芽试验。发芽试验用温度和贮藏期 2 因素试验设计,其中温度设 10 个水平:4,10,15,17.5,20,22.5,25,30,35,40℃;贮藏期设 2 个水平:贮藏 14 个月(2014 年种子)和 2 个月(2015 年种子)。每处理 3 次重复,每重复 50 粒种子。根据吸水规律先将种子在室温下用蒸馏水浸泡 6 h,然后摆放在铺有 2 层滤纸的直径 9 cm 玻璃培养皿内,并加蒸馏水 5 mL,置于不同温度下进行遮光恒温处理,每天用蒸馏水冲洗换水,保持培养皿内水量为 5 mL,并记录发芽种子数,将每天发芽的种子挑出统一存放在 15℃低温下,用于后期的生长发育动态等研究。

1.5 数据处理

所有试验数据用 DPS v14.10 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 宽叶韭的无性繁殖特性

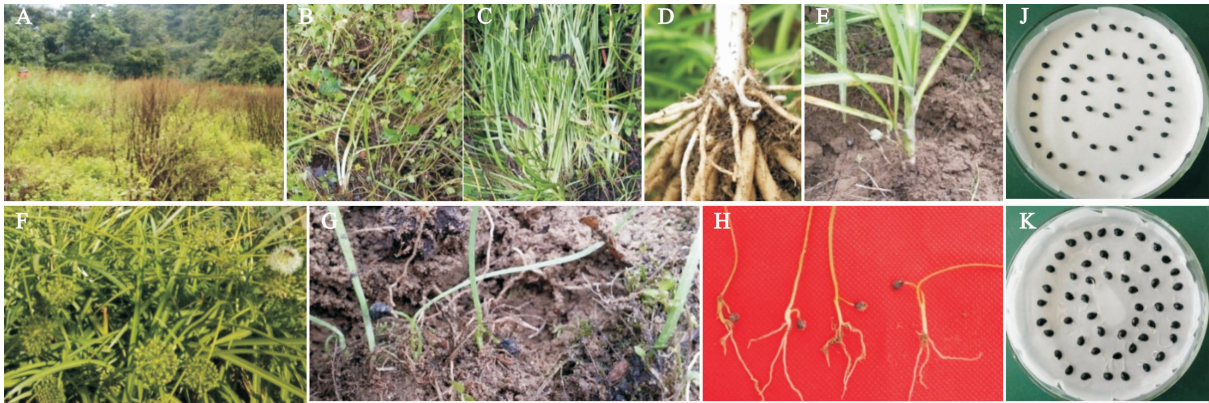
产于西藏南部的宽叶韭(图 1-A)在野生状态下有单株(图 1-B)和丛生(图 1-C) 2 种植株形态,采挖时发现单株和丛生株之间无根系相连,表明在野生状态下有种子掉落后发芽形成新的植株,之后在根部通过不断产生萌蘖而逐渐变成丛生状。移栽后的观察结果显示,在母体植株根部出现萌蘖(图 1-D)后形成新的幼株(图 1-E),使丛生植株的丛生状由小变大。这说明通过根部萌蘖产生新植株是宽叶韭

在自然状态下无性繁殖的唯一方式,也是宽叶韭扩大种群的主要途径。

2.2 宽叶韭的有性繁殖特性

2.2.1 开花结实特性 在资源圃观察宽叶韭在自然状态下开花结实期为 8~10 月份(图 1-F),比文献报道的花果期长 1 个多月^[1],其小花梗极易掉落,种子成熟期晚。掉落的种子在条件适宜时即可萌发出土长成幼苗,这与野生状态下发现有单株的结果相一致(图 1-G、H)。

由表 1 和表 2 可以看出,在资源圃的有限群体中,宽叶韭每花序有小花 56.33 个左右,在开放授粉下的结实率接近 98.72%,约 1/2 的花序结实率可达 100%;每小花有种子 1~4 粒不等,但仅有 1 粒种子的占 83.48%,有 2 粒种子的占 15.42%,3~4 粒种子的极少;套袋自交下平均结实率为 18.35%,约 20%的花序完全不结实,每结实小花结籽 1~5 粒不等,但仅有 1 粒种子的占 73.17%,有 2 粒种子的占 23.78%,3~5 粒种子的极少。开放授粉下所结种子中有少量呈 2 粒种子紧密黏结在一起的现象,在自然干燥状态下极难分开,充分吸水膨胀后才能分开;套袋情况下宽叶韭虽能自交结籽,但个体间差异巨大,结籽率变异系数达到 65.60%。2 种授粉方式下小花序结籽 1 粒的占绝大多数,其次是结籽 2 粒的小花序,结籽数达 3 粒以上的小花序所占比例均非常低;同时发现,少数结籽 1 粒或 2 粒的小花序所结种子不够饱满,但不影响发芽。



A. 野生生境;B. 野生单株;C. 野生丛生株;D. 资源圃生境下根系出现萌蘖;E. 资源圃生境下萌蘖株;F. 资源圃生境下结实情况;
G~H. 资源圃内掉落种子发芽成苗;J~K. 种子发芽情况
A. Wild habitat;B. Wild individual plant;C. Wild cluster plant;D. Root sprouting in resource nursery garden;
E. Sprouts in resource nursery garden;F. Fruiting condition in resource nursery garden;G~H. Dropped
seeds into seedlings in resource nursery garden;J~K. Seed germination

图 1 宽叶韭的生境及繁育特性

Fig. 1 Habitats and characteristics of *Allium hookeri*

表 1 宽叶韭的开花结实特性

Table 1 Flowering and fruiting characteristics of *Allium hookeri*

指标 Index	每花序小花数 Each inflorescence flowers	开放授粉小花结实率/% Open pollination flower seed rate	套袋自交小花结实率/% Bagging selfing flower seed rate
均值 Average	56.33±15.70	98.72±1.68	18.35±12.03
变异系数/% Coefficient of variation	27.87	1.70	65.60

表 2 宽叶韭 2 种授粉方式下小花结籽数在结籽小花中所占的比例

Table 2 Ratios of different seeds per flower in total seed flowers of

Allium hookeri between two pollination methods

%

授粉方式 Pollination	粒数 Seed				
	1	2	3	4	5
开放授粉 Open pollination	83.48	15.42	0.88	0.22	0.00
套袋自交 Bagging selfing	73.17	23.78	1.83	0.61	0.61

2.2.2 种子基本特性 宽叶韭种子总体呈椭球形 (图 1-J),横径 1.93 mm、纵径 3.41 mm,百粒质量 0.987 7 g,自然干燥状态下含水量为 6.94%(表 3)。

横径变异系数大,致使纵横径比值变异系数也较大。种皮较坚硬。

表 3 宽叶韭种子的基本特性

Table 3 Seed characteristics of *Allium hookeri*

指标 Index	横径/mm Transverse diameter	纵径/mm Longitudinal diameter	纵径/横径 Longitudinal/ Transverse	百粒质量/g Hundred-grain weight	含水量/% Water content
均值 Average	1.93±0.30	3.41±0.22	1.76±0.28	0.987 7±0.033 0	6.94±0.21
变异系数/% Coefficient of variation	15.50	6.44	15.95	3.34	2.97

2.2.3 种子吸水及内含物外渗规律 由图 2 可以看出,自然风干的宽叶韭种子在 20 ℃恒温下,在 1 h 内即可吸水达自身质量的 27%左右;之后至 26 h 内,吸水一直呈线性增加态势,吸水量与吸水时间呈正相关关系($R=0.989\ 0$)。在 26 h 时吸水量可达自身质量的 126%左右,26~44 h 吸水量呈缓慢增加趋势,44~104 h 吸水量增加非常缓慢,至 104 h 达最大,此时吸水量为自身质量的 145%。从图 2 还可知,20 ℃恒温下宽叶韭种子饱和吸水量在 44 h 以上。

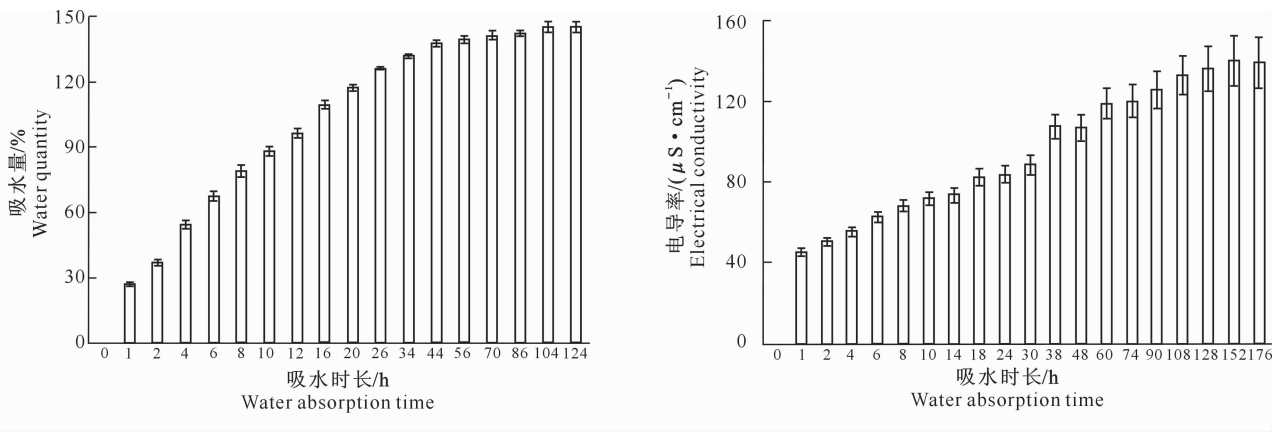


图 2 宽叶韭种子的吸水及内含物外渗规律

Fig. 2 Water absorption and inclusion of *Allium hookeri* seeds

在吸水过程中宽叶韭种子内的一些生命活性物质随着种皮透性的增强而外渗,使浸泡液的电导率发生变化,从图 2 可以看出,在吸水 1 h 电导率值急剧增加,至 38 h 达到小高峰,此时电导率值可达 109 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 左右;38~48 h 略有下降,但下降值在 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 左右,随后又呈缓慢增加态势,至 152 h 达最大值 141 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 左右。整体看,在 0~152 h 内,电导率值与吸水时间呈正相关关系($R=0.972\ 7$)。

吸水及内含物外渗规律表明,宽叶韭种子在 20 ℃恒温下浸种适宜时长为 4 h,此时种子吸水量超过

自身质量的 50%，内含物外渗处于较低水平，对种子发芽较为有利。最长不超过 30 h，否则内含物外渗可能会影响壮苗的形成。

2.3 宽叶韭种子的萌发特性

贮藏期长短对宽叶韭种子的寿命有着非常显著的影响。自然风干的种子在常温下贮藏 14 个月后续其发芽率非常低，充分吸水后在适宜温度环境下经过较长时间才有少量种子发芽。由图 3 可知，适宜温度(17.5, 20, 22.5 ℃)下经过 18 d 才有个别种子发芽，且不同重复间差异极大，发芽极不整齐，最高发芽率为 8%；种子可发芽的温度为 15~22.5 ℃，但在 15 ℃下发芽所需时间达 26 d, 17.5 ℃下的发芽率显著高于其他温度处理。

但在常温下贮藏 2 个月对宽叶韭种子的发芽率无任何影响。由图 3 可知，本研究中宽叶韭种子可发芽的温度大于 4 ℃小于 35 ℃，且在 10~25 ℃经过一定时期可使发芽率达到 95% 左右。在不同温度下，初始发芽时间差异较大，各温度下所需时间从

短到长依次是 22.5 ℃(5 d)、20 和 25 ℃(7 d)、17.5 ℃(8 d)、15 ℃(10 d)、30 ℃(13 d)、10 ℃(24 d)。各温度下发芽持续时间从短到长依次是 10 ℃(13 d)、30 ℃(17 d)、15 和 17.5 ℃(19 d)、22.5 ℃(20 d)、20 ℃(21 d)、25 ℃(25 d)。10~25 ℃均出现发芽高峰，其中 17.5 和 20 ℃的发芽高峰比较接近，均从第 10 天开始，第 17 天结束，持续 8 d；22.5 ℃下则是从第 9 天开始发芽，第 15 天结束，持续 7 d；15 和 25 ℃比较接近，均是从第 11 天开始发芽，第 21 天结束，持续 11 d；10 ℃下从初始发芽即进入高峰期，持续 7 d 左右。最终发芽率表现：10 ℃为 95.33%，15 ℃为 90.00%，17.5 ℃为 94.00%，20 ℃为 96.00%，22.5 ℃为 93.33%，25 ℃为 92.67%，30 ℃为 28.67%。从发芽情况看，在 10~25 ℃各重复间发芽整齐度较高，发芽率也高达 90% 以上；30 ℃下发芽整齐度及发芽率均较差，极显著低于其他温度下的发芽率($P<0.01$)，但其他温度间无显著性差异。

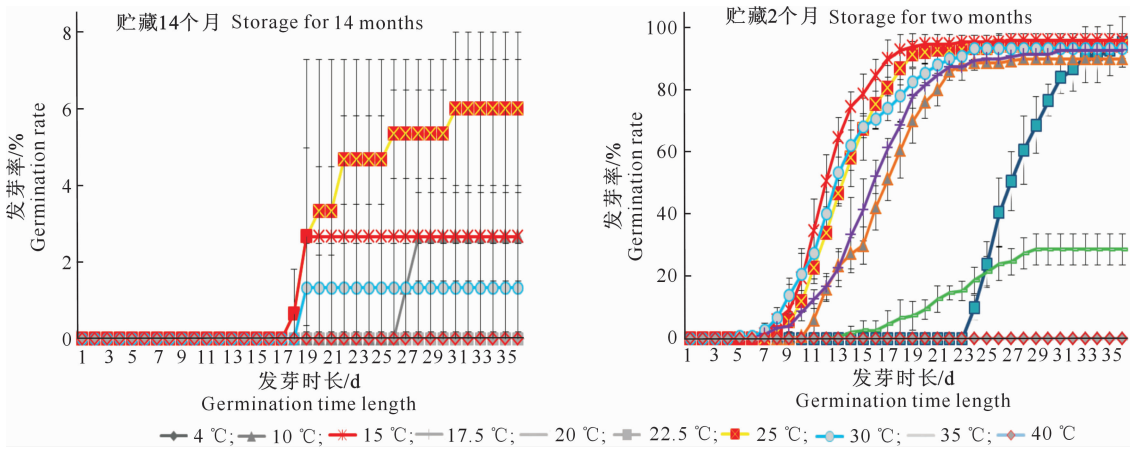


图 3 贮藏期及温度对宽叶韭种子萌发特性的影响

Fig. 3 Effect of storage and germination temperature on seed germination characteristics of *Allium hookeri*

3 讨论

3.1 宽叶韭的繁殖特性

任一植物种在进化过程中均可根据外界条件的变化而演化出相应的繁殖方式，对高等草本植物而言，通常以无性和有性两种繁殖方式进行。已有研究认为，宽叶韭在不同野生居群下有二倍体、三倍体及四倍体^[3-5]，但二倍体居群因花粉母细胞减数分裂时染色体不能正常配对，故虽能开花却不结实^[3-4, 6-7]，只能靠无性繁殖扩大居群^[4, 7]。但本研究对产于西藏南部的野生宽叶韭居群及其移植后的生长状况进行观察和试验后发现，宽叶韭的花果期在

8~10 月份，时间长于有关文献报道结果^[1]，且是从低海拔移栽于高海拔后的表现；在野生宽叶韭居群中有独立的单株，移栽后既能分蘖繁殖，也能正常开花结实，种子在自然掉落入土后翌年气温适宜时即可发芽成苗。本研究中宽叶韭能有性繁殖的特点与很多前人的研究报道^[3-4, 6-7]不同，却与《中国植物志》^[1]中对宽叶韭“花果期 8~9 月份”的描述相符。但宽叶韭在自然状态下开花结实期晚，在资源圃环境下，初花期在 8 月中旬，盛花期在 9 月初，终花期在 10 月中下旬，受深秋低温影响，种子成熟度低，往往小花梗已经枯萎，果实尚为嫩绿，且小花梗极易掉落；同时子房室难以开裂，与种子接触紧密，因此在

开放授粉情况下虽然小花结实率接近 100%,但作为 3 心室植物每小花绝大部分仅结 1 粒种子,这可能与其育性不高的特性有关^[3-4,6-7]。套袋自交情况下虽小花结实率较低,却出现了结籽 5 粒的小花,这比开放授粉下小花最多结籽 4 粒有所提高,其可能的原因是套袋延长了花粉的存留时间,使授粉较为充分,但该结果有待进一步验证。

3.2 宽叶韭的种子特性、吸水及内含物外渗规律

宽叶韭种子表皮光滑,呈椭球形,与大多数葱属植物的种子形态有明显差异,且种皮较硬。受开花结实影响,个别种子 2 粒紧密黏结,在自然风干状态下极难分开,但充分吸水后能够自然分开,分开后呈一定凹坑。宽叶韭种子属较重种子类型,千粒质量在 10 g 左右,与茗葱、茗葱接近^[9-10],远高于实葶葱^[11],也大于沙葱(蒙古韭)^[12]。因种子质量较大,干物质含量多,因而吸水规律与蒙古韭、碱韭、细叶韭^[13]有明显不同,19℃下这 3 种植物分别在 30、34 和 26 h 内达到饱和吸水,而宽叶韭在 20℃下达到饱和吸水则需要 100 h 以上,与茗葱的吸水规律^[9]比较接近,但小于实葶葱^[14]。虽然种子吸入充足的水分是种子萌发的基本条件,但充分吸水与饱和吸水不同,如实葶葱种子吸水 48 h 的发芽率高于吸水 120 h,说明实葶葱充分吸水时间为 48 h^[14]。因此,确定合理的种子充分吸水时间是提高种子发芽率的主要措施之一。种子饱和吸水情况下发芽率较低的原因有两个:一方面可能是水分渗入过多造成氧气不足,影响种子的呼吸作用,进而通过影响一系列生理活动而影响种子发芽;另一方面,在种子吸水过程中,随着种皮透性的增加,种子内一些生命活性物质会通过种皮而渗出,这些生命活性物质的减少影响了发芽。

生命活性物质的渗出情况可用浸泡液电导率值反映,从宽叶韭种子浸出液电导率值的变化来看,在吸水 1 h 内电导率值急剧增加,至 38 h 达到小高峰,之后又呈缓慢增加态势,至 152 h 达到最大值。但在浸泡的 0~152 h 始终处于上升状态,这与山韭和青甘韭种子电导率呈现“N”字形变化趋势^[15]完全不同,也与实葶葱种子从高到底后稍微升高的相对电导率变化情况不同^[14]。虽在浸泡 38、48、60 h 内出现了微小的“下降-上升”趋势,更多原因在于重复间的差异所致。宽叶韭与山韭和青甘韭相比较表现出完全不同的电导率现象,其原因除种子体积及千粒质量更大外,其他原因需要深入研究。综合来看,宽叶韭种子在 20℃恒温下浸种适宜时长为 4 h,最长

不超过 30 h,否则内含物外渗可能会影响壮苗的形成。但宽叶韭吸水量与发芽率究竟呈何关系,有待进一步深入研究。

3.3 温度对宽叶韭种子发芽的影响

葱属植物种类繁多,种子发芽特性也各有不同,如茗葱种子休眠时间较长^[9-10];蒙古韭种子存在光休眠现象^[16],且蒙古韭和细叶韭种子为种孔抑制和胚后熟的复合型休眠;碱韭为种孔抑制的强迫型休眠^[17]。高葶韭种子在 0℃即可发芽,在 15℃/25℃变温条件下更适宜萌发^[18],而茗葱^[9]、蒙古韭则更适宜在恒温下发芽^[19],但这些葱属植物的发芽最适温度均在 20℃左右,如蒙古韭种子萌发最适温度为 19~20℃^[12,17,20],高葶韭为 15~20℃^[18],茗葱为 20℃^[9],山韭为 20~22.5℃,青甘韭为 17.5~22.5℃^[15]。在本研究中,宽叶韭种子可发芽的温度为大于 4℃小于 35℃;从最终发芽率来看,室温短期贮藏(2 个月)种子发芽适温为 15~25℃,其中在 22.5℃下进入初始发芽期最早,温度偏低或偏高均会推迟,并且在此温度范围内均出现发芽高峰期,虽然持续时间不同,但最终发芽率均可达到 95%左右;10℃下虽然初始发芽时间较长,但进入初始发芽期后短时间内即可形成发芽高峰,且高峰期持续时间短,最终发芽率可达 95.33%。室温长期贮藏(14 个月)种子在不同温度下进入初始发芽的时间远大于短期贮藏种子,但发芽适温二者接近,且长期贮藏下发芽极不整齐,发芽率最高为 8%。

从发芽适温与资源圃掉落种子的发芽情况看,宽叶韭种子并未表现出一定的休眠特性,在温度和水分条件适宜时即可发芽成苗,这与其湿润的原生境极为相符,因自然状态下所结种子在翌年能够较快发芽,因而在长期演化过程中极少有种子在自然状态下长期贮藏,因此在人为长期贮藏后其发芽率大大降低。当然,宽叶韭种子的贮藏与发芽情况具体呈何种关系仍需要进一步研究。

3.4 贮藏期对宽叶韭种子发芽的影响

葱属植物葱、韭在 0~4℃干燥条件下贮藏 3 年对发芽率影响不大^[21],而种子的耐贮性对其在生产中的推广应用具有积极价值。因一些葱属植物种子具有不同程度的休眠特性而另一些种类则无休眠特性,因此葱属植物的种子贮藏方式需要根据是否有休眠特性进行区别对待。如实葶葱种子在室温条件下贮藏 90 d 的发芽效果优于低温贮藏^[11],而蒙古韭适于冷冻贮藏^[19],但在 15~20℃下贮藏 5 年以上的种子仍有较高发芽率^[22]。本研究中宽叶韭种子

室温下贮藏 14 个月后,其发芽率急剧降低,而短期(2 个月)贮藏则对发芽率无影响,这表明宽叶韭可能无休眠特性,或者休眠期非常短暂,且与其野生状态下利用种子繁殖有关,即当年种子在翌年条件适宜时萌发成为单株。但室温贮藏 14 个月的种子在发芽适温下经过较长时间的恒温处理,仍仅有少许种子能够发芽,表明随着贮藏条件的改变,宽叶韭种子的贮藏期可以适当延长。此外,针对自然状态下种子成熟度不高的问题,通过人为措施使其在母体上充分成熟,分析其贮藏效果,将是今后继续研究的内容。

[参考文献]

[1] 中国科学院《中国植物志》编委会. 中国植物志(第十四卷) [M]. 北京:科学出版社,1980:208.
“China Flora” Editorial Board, Chinese Academy of Sciences. China flora(volume 14) [M]. Beijing:Science Press,1980:208.

[2] 许本汉. 宽叶韭 [J]. 云南农业科技,2001(5):44.
Xu B H. *Allium bookeri* Thwaites [J]. Yunnan Agricultural Science and Technology,2001(5):44.

[3] 崔晓龙,晏一祥. 宽叶韭(*Allium hookeri* Thwaites)和多星韭(*Allium wallcicii* Kunth)核型的比较研究 [J]. 云南大学学报(自然科学版),1982(11):96.
Cui X L, Yan Y X. Study on comparative karyotype between *Allium hookeri* Thwaites and *Allium wallcicii* Kunth [J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences), 1982(11): 96.

[4] 张绍斌,许介眉. 宽叶韭居群间核型研究 [J]. 广西植物,2002, 22(4):345-348.
Zhang S B, Xu J M. A karyotypic study on populations of *Allium hookeri* Thwaites [J]. Guihaia, 2002, 22(4): 345-348.

[5] 黄瑞复,魏蓉城,许介眉. 宽叶韭及其变种木里韭的核型研究 [J]. 云南植物研究,1996(增刊Ⅷ):78-84.
Huang R F, Wei R C, Xu J M. Study on karyotype of *Allium hookeri* Thwaites and *Allium hookeri* Thwaites var. *muliense* Airy-Shaw [J]. Yunnan Plant Research, 1996(Suppl. Ⅷ): 78-84.

[6] Sharma G, Gohil R N, Kaul V. Cytological status of *Allium hookeri* Thwaites (2n=22) [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2011, 58(7): 1041-1050.

[7] 万海清,梁明山,许介眉. 宽叶韭种内分化的同工酶及可溶性蛋白的研究 [J]. 广西植物,1999, 19(2): 161-175.
Wan H Q, Liang M S, Xu J M. The study on isozyme and soluble proteins of intraspecies differentiation in *Allium hookeri* [J]. Guihaia, 1999, 19(2): 161-175.

[8] 张小亮,许介眉,谭仲明. 宽叶韭及其近缘种不同居群的黄酮类化合物薄层层析研究 [J]. 植物研究,1998, 18(2): 158-162.
Zhang X L, Xu J M, Tan Z M. Studies on thin-layer chromatography of flavonides for different populations in *Allium hookeri* and its relative species [J]. Bulletin of Botanical Research,

1998, 18(2): 158-162.

[9] 王明焱,徐连杰,杨利民. 茗葱种子萌发的生态学特性研究 [J]. 北方园艺,2011(7):35-37.
Wang M Y, Xu L J, Yang L M. Study on the ecological characteristics of seed germination of *Allium victorialis* L. [J]. Northern Horticulture, 2011(7): 35-37.

[10] 张忠宝,刘丽艳,黄城秀,等. 茗葱种子繁殖特性及不同处理对种子发芽的影响 [J]. 北方园艺,2010(3):32-34.
Zhang Z B, Liu L Y, Huang C X, et al. Effect of different treatments on seed germination and seed propagation characteristics of *Allium victorialis* L. [J]. Northern Horticulture, 2010(3): 32-34.

[11] 帕提曼·阿布都热合曼,林辰壹,古力加马力·克然木. 实葶葱种子贮藏方式研究 [J]. 中国种业,2011(4):47-48.
Padiman Abudurehemam, Lin C Y, Gulijiamali Keranmu. Study on storage method of seed of *Allium galanthum* [J]. China's Seed Industry, 2011(4): 47-48.

[12] 杨忠仁,郝丽珍,张凤兰,等. 沙葱种子的萌发特性和几种贮藏物质含量的变化 [J]. 植物生理学通讯,2007, 43(1): 173-175.
Yang Z R, Hao L Z, Zhang F L, et al. Seed germination and changes in storage substance contents of *Allium mongolicum* Regel [J]. Plant Physiology Communications, 2007, 43(1): 173-175.

[13] 赵金花,李青丰,巴德玛嘎力布. 内蒙古 3 种野生葱属植物种子吸水与萌发特性研究 [J]. 种子,2011, 30(9): 95-98.
Zhao J H, Li Q F, Bademagalibu. Studies on seed imbibition and germination characteristics of three wild allium plants in Inner Mongolia [J]. Seed, 2011, 30(9): 95-98.

[14] 茹克亚木·胡西塔尔,阿迪来·阿卜都古力,阿卜杜喀迪尔·努尔,等. 实葶葱种子吸水及萌发特性的研究 [J]. 新疆农业大学学报,2012, 35(5): 388-390.
Rukeyamu Huxitaer, Adilai Abuduguli, Abudukadier Nuer, et al. A study on absorption moisture and germination characteristics of *Allium galanthum* L. seeds [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2012, 35(5): 388-390.

[15] 田沐荣. 山韭和青甘韭种子萌发及耐旱耐盐性评价 [D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.
Tian M R. Effect of different temperatures and soaking time on seed germination and characteristics on drought and salt resistance of *Allium senescens* L. and *Allium przewalskianum* Regel [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2014.

[16] 鄂圆圆. 光照对沙葱种子萌发特性及生理基础影响的研究 [D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2008.
E Y Y. Effects of light on seed germination and physiological characteristics of *Allium mongolicum* [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2008.

[17] 赵金华. 三种野生葱属植物的生态适应性及繁衍更新特性研究 [D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.
Zhao J H. A study on ecological adaptability and reproduction feature of three wild allium plants [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2010.

[15]

Wu J, Qin Y, Zhao J. Pollen tube growth is affected by exogenous hormones and correlated with hormone changes in styles in *Torenia fournieri* L. [J]. Plant Growth Regulation, 2008, 55(2):137-148.

[16]

Ma K, Song Y, Huang Z. The low fertility of chinese white poplar: dynamic changes in anatomical structure, endogenous hormone concentrations, and key gene expression in the reproduction of a naturally occurring hybrid [J]. Plant Cell Reports, 2013, 148(1):87-96.

[17]

Mesejo C, Yuste R, Martinez Fuentes A, et al. Self-pollination and parthenocarpic ability indeveloping ovaries of self-incompatible *Clementine mandarins* (*Citrus clementina*) [J]. Physiology Plant, 2013, 148(1):87-96.

[18]

许 明, 白明义, 魏毓棠. 紫菜薹细胞质雄性不育系及其保持系在不同发育时期内源激素的变化 [J]. 西北农业学报, 2007, 16(3):124-127.
Xu M, Bai M Y, Wei Y T. Changes in endogenous hormone between *B. campestris* ssp. *Chinensis* var. *purpurea* Hort. CMS lines and their maintainer line at different development stages [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2007, 16(3):124-127.

[19]

张绍铃, 高付永, 陈迪新, 等. 植物生长调节物质对丰水梨花粉管生长的影响 [J]. 西北植物学报, 2003, 23(4):586-591.
Zhang S L, Gao F Y, Chen D X, et al. The effects of plant growth regulating substances on pollen germination and tube growth in Fengshui pears (*Pyrus serotina*) [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2003, 23(4):586-591.

[20]

Chen D, Zhao J. Free IAA in stigmas and styles during pollen germination and pollen tube growth of *Nicotiana tabacum* [J]. Physiologia Plantarum, 2008, 134(1):202-215.

[21]

Lewis D, Crowe L K. Unilateral interspecific incompatibility in flowering plant [J]. Heredity, 1958, 12(2):233-256.

[22]

张 鹏, 周骏辉, 荆艳萍. 杨树授粉亲和性与雌蕊生理生化变化的关系 [J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(6):11-14, 33.
Zhang P, Zhou J H, Jing Y P. Relationship between physiological and biochemical changes in pistil and pollination compatibility of *Poplar* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2014, 42(6):11-14, 33.

(上接第 128 页)

[18]

张 娟, 谭敦炎, 林辰壹. 野生蔬菜高葶韭种子形态特征及发芽条件研究 [J]. 种子, 2010, 29(10):45-48.
Zhang J, Tan D Y, Lin C Y. Study on seed morphology and germination condition of *Allium obliquum* L [J]. Seed, 2010, 29(10):45-48.

[19]

文 静. 贮藏条件和化学处理对沙葱种子萌发的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
Wen J. Effect of store condition and chymistry treatment on seeds germination of *Allium mongolicum* Regel [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2010.

[20]

许耀照, 吕 彪, 王勤礼, 等. 沙葱种子发芽特性研究 [J]. 北方园艺, 2014(6):4-7.
Xu Y Z, Lü B, Wang Q L, et al. Study on germination character of *Allium mongolicum* Regel [J]. Northern Horticulture, 2014(6):4-7.

[21]

苏玉清. 不同贮藏方法对葱韭类种子芽率影响 [J]. 种子世界, 1989(12):17.
Su Y Q. Different storage methods for green bud leek seed rate impact [J]. Seed World, 1989(12):17.

[22]

常海文. 贮藏陈化对沙葱种子及幼苗生理生化特性的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2015.
Chang H W. The effect of physiological and biochemical on storage aging to *Allium mongolicum* seeds and seeding [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2015.