

Methods for breaking Chinese lantern (*Physalis alkekengi* L.) seed dormancy. Laboratory and greenhouse studies

Métodos para romper la latencia en semillas de Farolito chino (*Physalis alkekengi* L.). Estudios de laboratorio y de invernadero

Métodos para quebrar a latência nas sementes da Lanterna chinesa (*Physalis alkekengi* L.). Estudos de laboratório e estufa

Ashkan Asgari, Parviz Rezvani Moghaddam* and Alireza Koocheki

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Emails: asgariashkan@mail.um.ac.ir, rezvani@um.ac.ir, akooch@um.ac.ir.

Abstract

In order to evaluate different methods of seed dormancy breaking for Chinese lantern (*Physalis alkekengi* L.), two experiments were conducted at laboratory and greenhouse conditions. The laboratory treatments were 22 different physical and chemical methods such as washing, stratification, scarification (sandy paper), sulfuric acid, gibberellic acid, potassium nitrate and the combination of both physical and chemical treatments. Eight of the best breaking seed dormancy treatments at the laboratory study were assessed at the greenhouse study. The results of the first experiment showed that all the treatments had significant effects on the measured traits. The highest germination percentage was shown in the combinational treatments (washing + gibberellic acid, sulfuric acid + potassium nitrate, scarification + gibberellic acid and scarification + potassium nitrate). These treatments led to 100% germination. The minimum mean germination time (MGT) was found in the washing + gibberellic acid (3.89 days),

Recibido el 14-05-2017 • Aceptado el 01-03-2018

*Corresponding author. Email: rezvani@um.ac.ir.

washing + potassium nitrate (4.42 days) and stratification + gibberellic acid (4.79 days) treatments. Sulfuric acid + potassium nitrate, washing + gibberellic acid, washing + potassium nitrate and stratification + potassium nitrate led to the highest seed vigor. The results of the second experiment revealed that the best treatments in terms of emergence percentage (EP) in the greenhouse were sulfuric acid + potassium nitrate (92%) and sulfuric acid + gibberellic acid (89%). Also, the minimum mean emergence time (MET) was obtained in washing + gibberellic acid (10 days). The highest seed vigor was found in washing + potassium nitrate and sulfuric acid + gibberellic acid. Totally, washing + gibberellic acid, washing + potassium nitrate, sulfuric acid + gibberellic acid and sulfuric acid + potassium nitrate were the best treatments to break Chinese lantern seed dormancy regarding germination percentage, MET and seed vigor.

Key words: gibberellic acid, physical and physiological dormancy, potassium nitrate.

Resumen

Dos experimentos se llevaron a cabo en condiciones de laboratorio e invernadero con el propósito de evaluar los diferentes métodos de ruptura de la latencia en semillas de Farolito chino (*Physalis alkekengi* L.). Los tratamientos en el laboratorio consistieron en 22 métodos físicos y químicos tales como remojo, estratificación, escarificación (lija), ácido sulfúrico, ácido giberélico, nitrato de potasio y una combinación de tratamientos físicos y químicos. Basado en los resultados del estudio de laboratorio, el ensayo en invernadero se realizó usando ocho tratamientos y seleccionando los mejores para romper la latencia de las semillas. Los resultados del primer experimento demostraron efectos significativos en las características estudiadas. El mayor porcentaje de germinación se evidenció en los tratamientos combinados (remojo + ácido giberélico, ácido sulfúrico + nitrato de potasio, escarificación + ácido giberélico y escarificación + nitrato de potasio); estos tratamientos presentaron 100% de germinación. El tiempo promedio mínimo de germinación (TMG) se encontró con remojo + ácido giberélico (3,89 días), remojo + nitrato de potasio (4,42 días) y tratamientos de estratificación + ácido giberélico (4,79 días); mientras que ácido sulfúrico + nitrato de potasio, remojo + ácido giberélico, remojo + nitrato de potasio y estratificación + nitrato de potasio condujeron al mayor vigor de la semilla. Los resultados del segundo experimento revelaron que los mejores tratamientos en términos de porcentaje de emergencia (PE) en invernadero correspondieron a ácido sulfúrico + nitrato de potasio (92%) y ácido sulfúrico + ácido giberélico (89%). El tiempo mínimo de la emergencia (TME) se obtuvo con remojo + ácido giberélico (10 días). El mayor vigor de la semilla se encontró en remojo + nitrato de potasio y ácido giberélico + ácido sulfúrico. En general, el remojo + ácido giberélico, remojo + nitrato de potasio, ácido sulfúrico + ácido giberélico, ácido sulfúrico + nitrato de potasio fueron los mejores tratamientos para romper la latencia de las semillas de Farolito chino en cuanto al porcentaje de germinación, TME y vigor de las semillas.

Palabras clave: ácido giberélico, latencia física y fisiológica, nitrato de potasio.

Resumo

Duas experiências foram levadas a cabo em condições de laboratório e com efeito de estufa, a fim de avaliar diferentes métodos de quebra de dormência em sementes de Lanterna chinês (*Physalis alkekengi* L.). Os tratamentos consistiram no laboratório 22 métodos físicos e químicos, tais como a lavagem, estratificação, escarificação (lixa), ácido sulfúrico, ácido giberélico, nitrato de potássio e uma combinação de tratamentos físicos e químicos. Com base nos resultados do estudo de laboratório, o experimento em estufa foi conduzido usando oito tratamentos e selecionando os melhores para quebrar a dormência das sementes. Os resultados do primeiro experimento mostraram efeitos significativos sobre as características estudadas. A maior percentagem de germinação era evidente no tratamento combinado (imersão ácido giberélico + ácido sulfúrico + nitrato de potássio, ácido giberélico e escarificação + escarificação + nitrato de potássio); estes tratamentos apresentaram 100% de germinação. O tempo de germinação média mínima (TMG) encontrado imersão + ácido giberélico (3,89 dias), imersão + nitrato de potássio (4,42 dias) e tratamento estratificação + ácido giberélico (4,79 dias); enquanto que o ácido sulfúrico + nitrato de potássio, ácido giberélico + absorver, absorver + nitrato de potássio e nitrato de potássio estratificação + conduziu a uma maior vigor das sementes. Os resultados da segunda experiência mostrou que os melhores tratamentos em termos de percentagem de emergência (PE) em estufa correspondeu ao ácido sulfúrico + nitrato de potássio (92%) e sulfúrico + giberélico (89%) de ácido. O tempo mínimo de emergência (TME) foi obtido com imersão + ácido giberélico (10 dias). O maior vigor da semente foi encontrado na imersão + nitrato de potássio e ácido giberélico + ácido sulfúrico. Em geral, imersão + ácido giberélico, imersão + nitrato de potássio, sulfúrico + ácido giberélico ácido sulfúrico, + nitrato de potássio foram os melhores tratamentos para quebrar na Lanterna chinês dormência da semente na germinação percentual, e TME vigor das sementes. **Palavras-chave:** ácido giberélico, latência física e fisiológica, nitrato de potássio.

Introduction

Seed dormancy is defined as a state in which an alive seed is unable to germinate (Nee *et al.*, 2017). This is an ecological adaptation mechanism which let plants survive in an unfavorable environmental condition; the seed germination ability can be regulated by environmental signals (Finkelstein *et al.*, 2008; Arc *et al.*,

Introducción

La latencia de la semilla se define como el estado en el cual una semilla viva es incapaz de germinar (Nee *et al.*, 2017). Este es un mecanismo de adaptación ecológico que permite la supervivencia de las plantas en condiciones ambientales desfavorables; la capacidad de germinación de la semilla puede ser

2013; Nonogaki, 2014). Often seed dormancies are categorized into different types such as physiological dormancy (PD), morphological dormancy (MD), morphophysiological dormancy (MPD), physical dormancy (PY) and combinational dormancy (PY+PD) (Baskin and Baskin, 2004; Baskin and Baskin, 2014). Embryo coats, underdeveloped or immature embryo and limited metabolism are responsible for dormancy (Bewley *et al.*, 2013). Embryo is responsible for two morphological and physiological dormancies. Morphological dormancy is caused by underdeveloped or immature embryo, while physiological dormancy prevents embryo growth by chemical inhibitors (Footitt and Finch-Savage, 2017). Environmental conditions, genetics, plant size and seed location on maternal plant impact dormancy severity (Graeber *et al.*, 2012; Footitt and Finch-Savage, 2017). Seeds which undergo deep dormancy, germinate only in a narrow environmental condition (Batlla and Benech-Arnold, 2007). There are different methods to break seed dormancy and it depends on plant species and type of dormancy (Penfield, 2017). ISTA (2010) and AOSA (2009) proposed some methods include stratification, chemical and mechanical scarification, germination promoters (gibberellic acid and potassium nitrate), light, alternative temperature (Aghilian *et al.*, 2014).

Physalis is a genus of Solanaceae family which is native to the south and central America. However, it has spread from America to all over the world (Sultana *et al.*, 2008; Travlos,

regulada por señales ambientales (Finkelstein *et al.*, 2008; Arc *et al.*, 2013; Nonogaki, 2014). A menudo, la latencia de las semillas se pueden clasificar en diferentes tipos tales como latencia fisiológica (LF), latencia morfológica (LM), latencia morfofisiológica (LMF), latencia física (LFI) y latencia combinada (LFI + LF) (Baskin y Baskin, 2004; Baskin y Baskin, 2014). Los responsables de la latencia son las coberturas de los embriones, los embriones subdesarrollados o inmaduros y el metabolismo limitado (Bewley *et al.*, 2013). El embrión es responsable de dos latencias; la morfológica y la fisiológica. La latencia morfológica es causada por un embrión subdesarrollado o inmaduro, mientras que la latencia fisiológica impide el crecimiento del embrión a través de inhibidores químicos (Footitt y Finch-Savage, 2017). Las condiciones ambientales, genética, tamaño de la planta y ubicación de la semilla en la planta materna, impactan en la severidad de la latencia (Graeber *et al.*, 2012; Footitt y Finch-Savage, 2017). Las semillas sometidas a una latencia profunda, solo germinan en condiciones ambientales controladas (Batlla y Benech-Arnold, 2007). Existen diferentes métodos para romper la latencia de las semillas, éstos dependen de las especies de plantas y del tipo de latencia (Penfield, 2017). ISTA (2010) y AOSA (2009) propusieron algunos métodos que incluyen la estratificación química y mecánica, promotores de la germinación (ácido giberélico y nitrato de potasio), luz y alternancia de temperaturas (Aghilian *et al.*, 2014).

2012). Fruits of some species are used as food (*P. peruviana* L.), ornamental and medicinal (*P. alkekengi* L.) and vegetable (*P. ixocarpa* Brot.) (Quiros, 1984). *Physalis alkekengi* is widely used in traditional medicine because of an especial steroid (Physalin) (Guimaraes *et al.*, 2009; Yu *et al.*, 2010). In traditional Chinese medicine (TCM), *P. alkekengi* is used for the treatment of a cough, excessive phlegm, pharyngitis, sore throat, dysuria and eczema (Pharmacopoeia Commission of PRC, 2015).

A few studies have been conducted to declare a proper method to break Chinese lantern seed dormancy and no research has investigated all the methods. Derakhshan and Gherekhloo (2014) investigated some ecological aspects of germination and seed dormancy of *P. angulata*, reported that application of gibberellic acid (GA3) was effective treatment for seeds primary dormancy breaking. Ghorbani *et al.* (2016) evaluated the effect of environmental factors such as temperature ranges and different levels of salinity on germination and emergence of *P. divaricata*. Also, Godraty *et al.* (2015) examined the effects of 5, 15, 25 and 35 days pre-chilling and boiling water on *P. alkekengi* seed dormancy. Based on the mentioned investigation, the germination of seeds treated by boiling water was zero for all times of exposure. Pre-chilling conditions (wet and dry) demonstrated significant effects on seed germination. This paper aims to define Chinese lantern seed dormancy type and the best method to break it.

Physalis es un género de la familia de las solanáceas que es nativo del sur y Centroamérica. Sin embargo, se ha extendido desde América a todo el mundo (Sultana *et al.*, 2008; Travlos, 2012). Las frutas de algunas especies se utilizan como alimento (*P. peruviana* L.), algunas son ornamentales y medicinales (*P. alkekengi* L.) y como hortalizas (*P. ixocarpa* Brot.) (Quiros, 1984). *Physalis alkekengi* es ampliamente utilizada en la medicina tradicional debido a un esteroide especial (Physalin) (Guimaraes *et al.*, 2009; Yu *et al.*, 2010). En la medicina tradicional china (MTC), *P. alkekengi* es utilizado para el tratamiento de la tos, flema excesiva, faringitis, dolor de garganta, disuria y eczema (Pharmacopoeia Commission of PRC, 2015).

Algunos estudios se han realizado para determinar un método apropiado para romper la latencia de las semillas de Farolito chino y ningún estudio ha investigado todos los métodos. Derakhshan y Gherekhloo (2014) investigaron algunos aspectos ecológicos de la germinación y la latencia de las semillas del *P. angulata*, indicando que la aplicación de ácido giberélico (GA3) fue un tratamiento efectivo para romper la latencia primaria de las semillas. Ghorbani *et al.* (2016) evaluaron el efecto de factores ambientales tales como rangos de temperatura y diferentes niveles de salinidad en la germinación y emergencia de *P. divaricata*. Además, Godraty *et al.* (2015) examinaron los efectos de 5, 15, 25 y 35 días de pre-enfriamiento y agua caliente en la latencia de las

Materials and methods

Chinese lantern seeds were collected from naturally ripened plants at the fields of Fars province, Iran during November 2015. Evaluation of different methods to break seed dormancy was conducted through two stages. At first, an experiment was conducted as complete randomized design with three replicates. The experimental treatments were 22 different physical and chemical methods as: washing (48 hours in running water), scarification with sandy paper for one minute, keep the seeds for: 10 min in 40% sulfuric acid, 36 hours in 0.5% potassium nitrate (KNO_3), 7 days humid stratification (seeds were placed between two layers of Whatman filter paper moistened with 5 ml distilled water in Petri dishes in 4), 24 hours in 1000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ gibberellic acid (GA3) and combinational treatments included pairwise of each mentioned treatments and control (distilled water) (respectively: Pre-test; Suzuki and Saito, 1967; Mosavi and Ahmadi, 2008; Aghilian *et al.*, 2014; Derakhshan and Gherekhloo, 2014). Then, seeds were exposed to 30 with 16 hours light and 8 hours darkness in a germinator (Zhou *et al.*, 2005; ISTA, 2010). The top paper method was applied for germination test in the laboratory. Twenty-five seeds were lain on the two layers Whatman paper (No. 42) in a 9 cm Petri dish and then 5 mL distilled water was added. The number of germinated seeds was recorded every 12 hours for 15 days. Appearance of 2 mm radicle

semillas de *P. alkekengi*. Basados en la investigación mencionada, la germinación de semillas tratadas con agua caliente fue cero en todos los tiempos de exposición. Las condiciones del pre-enfriamiento (húmeda y seca) demostraron efectos significativos en la germinación de las semillas. Este artículo tuvo como objetivo definir el tipo de latencia de las semillas de Farolito chino y el mejor método para romperla.

Materiales y métodos

Las semillas de Farolito chino se recolectaron de plantas que crecieron naturalmente en los campos de la provincia de Fars, Irán, durante noviembre de 2015. La evaluación de diferentes métodos para romper la latencia de la semilla se condujo a través de dos etapas. Primero, se condujo un experimento en un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones. Los tratamientos experimentales fueron 22 diferentes métodos físicos y químicos como: remojo (48 horas en agua corriente), escarificación con papel lija durante un minuto, mantenimiento de las semillas durante: 10 minutos en ácido sulfúrico al 40%, 36 horas en nitrato de potasio al 0,5% (KNO_3), 7 días de estratificada húmeda (las semillas se colocaron entre dos capas de papel de filtro Whatman humedecido con 5 ml de agua destilada en placas de Petri a 4 °C), 24 horas en 1000 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de ácido giberélico (GA3) y tratamientos combinados que incluyeron pares de cada uno de los tratamientos mencionados y el testigo (agua

was assumed as complete germination (ISTA, 2010).

At the second stage of experiment, the best eight treatments in terms of higher germination and lower mean germination time (MGT) were selected for the greenhouse experiment. The experiment was conducted based on complete randomized design with three replications. The experimental treatments were washing + gibberellic acid, washing + potassium nitrate, gibberellic acid + potassium nitrate, stratification + gibberellic acid, scarification + gibberellic acid, scarification + potassium nitrate, sulfuric acid + potassium nitrate, sulfuric acid + gibberellic acid and control. Seedbed was made by combination of cocopeat and peat moss (proportion of 70:30). The greenhouse environmental condition was similar to the laboratory (30 with 16 hours light and 8 hours darkness). Transplant tray (25 cm long × 43 cm wide × 4 cm deep) was used. Each tray was divided into three equal sections (plots) into each of which 25 seeds were sown by pressing into the soil to a depth of 2-4 mm and drawing the soil back over each seed.

Germination percentage (GP), emergence percentage (EP) (Zare *et al.*, 2011), mean germination time (MGT), mean emergence time (MET) (Matthews and Khajeh Hosseini, 2006), length of radicle and hypocotyl, dry biomass of radicle and hypocotyl and seed vigor index (VI) (Baalbaki *et al.*, 2009) were applied to analyzed the impact of treatments.

destilada) (respectivamente: prueba previa; Suzuki y Saito, 1967; Mosavi y Ahmadi, 2008; Aghilian *et al.*, 2014; Derakhshan y Gherekhloo, 2014). Luego, las semillas fueron expuestas en un germinador a 30 °C a 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad (Zhou *et al.*, 2005; ISTA, 2010). Se aplicó el método de cobertura de papel para la prueba de germinación en el laboratorio. Veinticinco semillas fueron colocadas sobre dos capas de papel Whatman (No. 42) en una cápsula de Petri de 9 cm y luego se agregaron 5 mL de agua destilada. La cantidad de semillas germinadas fue registrada cada 12 horas durante 15 días. El crecimiento de 2 mm de la radícula se asumió como germinación completa (ISTA, 2010).

En la segunda etapa del experimento, se seleccionaron los mejores ocho tratamientos en términos de mayor germinación y menor tiempo medio de germinación (TMG) para el experimento de invernadero. El experimento fue conducido en un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Los tratamientos experimentales fueron remojo + ácido giberélico, remojo + nitrato de potasio, ácido giberélico + nitrato de potasio, estratificación + ácido giberélico, escarificación + ácido giberélico, escarificación + nitrato de potasio, ácido sulfúrico + nitrato de potasio, ácido sulfúrico + ácido giberélico y el testigo. El semillero se hizo con una combinación de fibra de coco y turba (proporción 70:30). La condición ambiental del invernadero fue similar a la del laboratorio (30 con 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad). Se usó una bandeja de trasplante (25

$$GP \text{ or } EP = \frac{G(E)}{N} \times 100 \quad (1)$$

$$MGT \text{ or } MET = \frac{\sum D_i N_i}{N} \times 100 \quad (2)$$

$$VI = GP(EP) \times S \quad (3)$$

Where:

G is the total number of germinated seeds, E is the total number of emerged seedlings, N is the total number of seeds, D_i is the number of days counted since the day of sowing until the day of observation, is the number of germinated seeds (seedlings emerged) on the day of observation and S is the seedling length. All data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using SAS 9.1 software (SAS, 2002). When F test indicated statistical significance at $P < 0.01$ or $P < 0.05$, the least significant difference (LSD) was used to separate the means.

Results and discussion

Laboratory experiment

The results showed that all studied treatments had significant effects on germination indices ($P \leq 0.01$) (table 1). The highest GP (100%) was obtained in washing + gibberellic acid, sulfuric acid + potassium nitrate, scarification + gibberellic acid, scarification + potassium nitrate treatments (figure 1). Washing + sulfuric acid, stratification + sulfuric acid and scarification + sulfuric acid treatments had the least GP even in comparison with control treatment (figure 1). It seems during stratification and washing, seed coats were damaged. In

cm de largo x 43 cm de ancho x 4 cm de profundidad). Cada bandeja fue dividida en tres secciones iguales (parcelas) en cada una de las cuales se sembraron 25 semillas, presionando el suelo a una profundidad de 2-4 mm y cubriendo cada semilla con el sustrato.

Para analizar el impacto de los tratamientos se determinó el porcentaje de germinación (PG), porcentaje de emergencia (PE) (Zare *et al.*, 2011), tiempo medio de germinación (TMG), tiempo medio de emergencia (TME) (Matthews y Khajeh-Hosseini, 2006), longitud de la radícula e hipocótilo, biomasa seca de la radícula e hipocotilo y el índice de vigor del hipocótilo y la semilla (IV) (Baalbaki *et al.*, 2009).

$$PG \text{ o } PE = \frac{G(E)}{N} \times 100 \quad (1)$$

$$TMG \text{ or } TME = \frac{\sum D_i N_i}{N} \times 100 \quad (2)$$

$$IV = PG(PE) \times S \quad (3)$$

Donde:

G es el número total de semillas germinadas, E es el número total de plántulas emergidas, N es el número total de semillas, D_i es el número de días contabilizados desde el día de la siembra hasta el día de la observación, es el número de semillas germinadas (plántulas emergidas) el día de la observación y S es la longitud de la plántula. Todos los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software SAS 9.1 (SAS, 2002). Cuando la prueba de F indicó significación estadística en $P < 0,01$ o $P < 0,05$, la mínima diferencia

Table 1. Analysis of variance (mean square) for the effects of breaking seed dormancy treatments on germination characteristics of *Physalis alkekengi* in the laboratory.**Cuadro 1. Análisis de varianza (cuadrados medios) para los efectos de tratamientos de ruptura de de latencia de semillas en las características de germinación de *Physalis alkekengi* en el laboratorio.**

	df	GP	MGT	RL	HL	RW	HW	VI
Treatments	21	3137**	15.09**	359.3**	248.4**	0.118**	4.46**	9504204**
Error	44	3.39	0.25	0.39	0.69	0.001	0.022	11304
C.V. (%)		2.87	6.43	4.49	7.22	8.94	8.44	5.26

df= degrees of freedom, GP: germination percentage, MGT: mean germination time, RL: radicle length, HL: hypocotyl length, RW: radicle biomass, HW: hypocotyl biomass, VI: vigor index.

** Significant at $P \leq 1.01$.

the case of sulfuric acid, it may have a destructive effect on seed coat.

Totally, combinational treatments compared with individual treatments successfully break Chinese lantern seed dormancy except three former mentioned combinational treatments. It seems combinational treatments because of hiring different physical and chemical methods were more efficient in Chinese lantern seeds dormancy breaking. Chinese lantern seeds seem to have a physical barrier against water and air absorption. Therefore, for breaking physiological dormancy it needs to first remove physical or chemical barriers and then use other methods (such as different hormones) to remove physiological dormancy. Combinational treatments of scarification (sandy paper) and gibberellic acid increased seed germination percentage (Zare *et al.*, 2011). The combination of an embryo with low growth potential and mechanical restriction from the seed coat can result in dormancy.

significativa (MDS) se usó para separar los promedios.

Resultados y discusión

Experimento de laboratorio

Los resultados mostraron que todos los tratamientos estudiados tuvieron efectos significativos sobre el índice de germinación ($P \leq 0,01$) (cuadro 1). El PG más alto (100%) se obtuvo con los tratamientos de remojo + ácido giberélico, ácido sulfúrico + nitrato de potasio, escarificación + ácido giberélico, escarificación + nitrato de potasio (figura 1). Los tratamientos de remojo + ácido sulfúrico, estratificación + ácido sulfúrico y escarificación + ácido sulfúrico tuvieron el menor PG, incluso en comparación con el testigo (figura 1). Durante la estratificación y el remojo, se dañaron las cubiertas de las semillas. El ácido sulfúrico, podría tener un efecto destructivo en la cubierta de las semillas.

Los tratamientos combinados al compararlos con los tratamientos

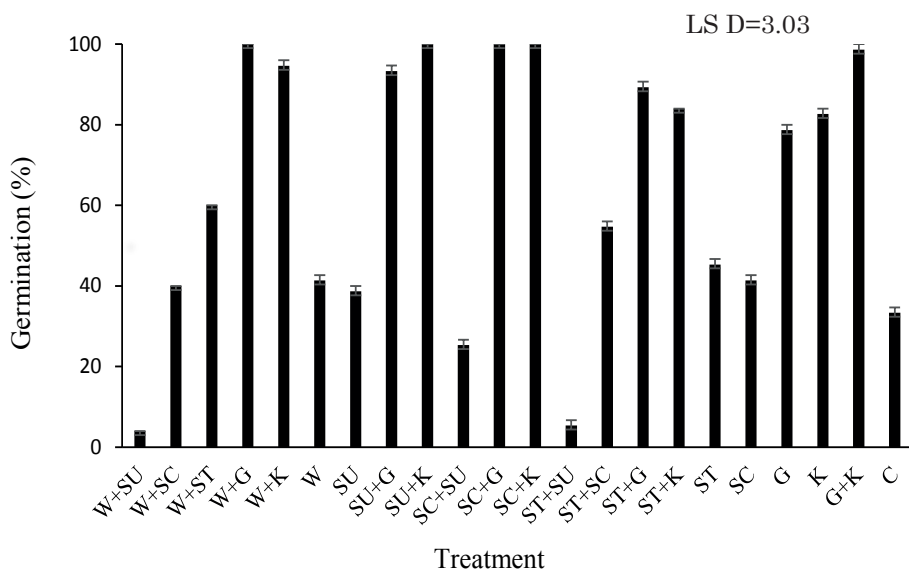


Figure 1. The effect of breaking seed dormancy treatments on germination percentage (mean±SE) of *Physalis alkekengi* in the laboratory (C: control, W: washing, G: gibberellic acid, K: potassium nitrate, ST: stratification, SC: scarification, SU: sulfuric acid).

Figura 1. El efecto de tratamientos para romper la latencia de semillas en el porcentaje de germinación (media±SE) de *Physalis alkekengi* en el laboratorio (C: control, R: remojo, G: ácido giberélico, K: nitrato de potasio, ST: estratificación, SC: escarificación, SU: ácido sulfúrico).

GA can release this coat dormancy by increasing the embryo growth potential and/or by reducing the mechanical constraint (Finch-Savage and Leubner-Metzger, 2006). The balance between synthesis and catabolism of ABA and GA as well as the sensitivity to these hormones are essential for dormancy situation (Cembrowska-Lech and Kepczynski, 2016).

A dynamic balance of hormone synthesis and catabolism operates establishing a controlling balance

individuales, lograron romper exitosamente la latencia de las semillas de Farolito chino, excepto por los tres tratamientos combinados mencionados anteriormente. Al parecer, los tratamientos combinados fueron más eficientes en la ruptura de la latencia de las semillas de Farolito chino debido al empleo de diferentes métodos físicos y químicos. Las semillas de Farolito chino parecen tener una barrera física contra la absorción de agua y aire. Por lo tanto, para romper la latencia fisiológica

of ABA:GA ratio to direct signalling pathways that regulate dormancy/germination by altering seed sensitivity to the ambient germination environment. GA acts by increasing the embryo growth potential and by promoting endosperm weakening achieved through ABA-independent and ABA-inhibited mechanisms (Finch-Savage and Leubner-Metzger, 2006). It seems using wash + gibberellic acid is effective in germination through this process.

The least MGT, which means the highest germination rate, was belonged to washing + gibberellic acid (3.89 days), washing + potassium nitrate (4.42 days) and stratification + gibberellic acid treatments (4.79 days). The highest MGT was found in treatments of scarification + sulfuric acid (12.8 days), control (11.67 days) and scarification (10.24 days) treatments (table 2). Combinational application of potassium nitrate and gibberellic acid with other treatments was able to break dormancy and led to increasing seed germination percentage and germination rate. Many researchers showed the importance of potassium nitrate and gibberellic acid in germination rate (Gashi *et al.*, 2012). Potassium nitrate can also reduce the stratification time. It breaks dormancy by adjusting hormonal balance and removing inhibitors. Chemical stimulators can break physiological dormancy (Mohammadi *et al.*, 2012). Gibberellic acid is known as growth-promoting hormones, impressing in different processes during plant development, such as shoot growth,

primero se debe eliminar las barreras físicas o químicas y luego usar otros métodos (como diferentes hormonas) para eliminar la latencia fisiológica. Los tratamientos combinados de escarificación (papel lija) y ácido giberélico aumentaron el porcentaje de germinación de las semillas (Zare *et al.*, 2011). La combinación de un embrión con un bajo potencial de crecimiento y la restricción mecánica de la cubierta de la semilla podría dar lugar a la latencia. El AG podría liberar esta latencia de la cubierta aumentando el potencial de crecimiento del embrión y/o reduciendo la restricción mecánica (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006). El balance entre la síntesis y el catabolismo del ABA y el AG, así como la sensibilidad a estas hormonas fueron esenciales para la latencia (Cembrowska-Lech y Kepczynski, 2016).

Un equilibrio dinámico de la síntesis y catabolismo de las hormonas opera estableciendo un balance controlado de la relación ABA:AG para dirigir las rutas de señalización directa que regulan la latencia/germinación al alterar la sensibilidad de la semilla al ambiente de germinación. El AG actúa aumentando el potencial de crecimiento del embrión y promoviendo el debilitamiento del endospermo logrado a través de mecanismos independientes del ABA e inhibidores del ABA (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006). Al parecer, utilizar remojo + ácido giberélico fue efectivo en la germinación a través de este proceso.

La menor TMG, lo que significa la máxima tasa de germinación, se

flower development, dormancy release and seed germination (Linkies and Leubner-Metzger, 2012). It has been stated that potassium nitrate has a positive effect on sunflower germination (Maiti *et al.*, 2006).

According to the results, stratification + potassium nitrate treatment produced the highest radicle length (42 mm), afterward washing + potassium nitrate (31 mm) treatment. The highest radicle length which obtained in these treatments, it seems that the seeds germinate sooner, produce longer radicle. According to the results of both studied experiments, all treatments with potassium nitrate caused longer radicle and higher seedling (table 2). Hamidi and Pirasteh-Anosheh (2013) reported a positive effect of potassium nitrate on radicle and hypocotyl of sunflower. The most impressive treatment on seedling length was stratification and potassium nitrate.

The length of hypocotyl influenced by washing + gibberellic acid and sulfuric acid + gibberellic acid treatments which were higher than other treatments (30 and 27 mm, respectively) ($P \leq 0.01$). The treatments with the lowest germination percentage had the shortest hypocotyl (table 2). The gibberellic acid combinational treatments were effective on hypocotyl. Salehi *et al.* (2015) showed that the longest hypocotyl could be acquired by washing + gibberellic acid. There is good evidence from studies that a GA-derived signal moves from the root to activate the metabolism in the basal cells of the hypocotyl. The subsequent

alcanzó con los tratamientos de remojo + ácido giberélico (3,89 días), remojo + nitrato de potasio (4,42 días) y estratificación + ácido giberélico (4,79 días). La mayor TMG se encontró en los tratamientos de escarificación + ácido sulfúrico (12,8 días), testigo (11,67 días) y escarificación (10,24 días) (cuadro 2). La aplicación combinada de nitrato de potasio y ácido giberélico con otros tratamientos fueron capaces de romper la latencia y conllevó a un aumento en el porcentaje de germinación de las semillas y de la tasa de germinación. Muchos investigadores han mostrado la importancia del nitrato de potasio y el ácido giberélico en la tasa de germinación (Gashi *et al.*, 2012). El nitrato de potasio también podría reducir el tiempo de estratificación. Rompe la latencia ajustando el balance hormonal y eliminando los inhibidores. Los estimuladores químicos podrían romper la latencia fisiológica (Mohammadi *et al.*, 2012). El ácido giberélico se conoce como una hormona promotora del crecimiento, que influye en diferentes procesos durante el desarrollo de la planta, tales como el crecimiento de brotes, desarrollo de flores, liberación de la latencia y germinación de semillas (Linkies y Leubner-Metzger, 2012). Se ha afirmado que el nitrato de potasio tuvo un efecto positivo en la germinación del girasol (Maiti *et al.*, 2006).

De acuerdo con los resultados, el tratamiento de estratificación + nitrato de potasio produjo la mayor longitud de la radícula (42 mm), seguido por remojo + nitrato de potasio (31 mm). La longitud de la radícula más larga se

Table 2. Mean comparison for the effects of breaking seed dormancy treatments on germination characteristics of *Physalis alkekengi* in the laboratory.

Cuadro 2. Comparación de medias de los efectos de tratamientos para ruptura de latencia de semillas sobre características de germinación de *Physalis alkekengi* en el laboratorio.

Treatments	MGT day	RL mm	HL mm	RW mg	HW mg	VI
W+SU	8 hg	2 n	0 o	0.08 j	0 j	8 l
W+SC	8.03 hg	16.5 gh	9.83 hi	0.39 e	1.74 fg	1053 ij
W+ST	9 def	15.5 hi	5.66 m	0.24 gh	1.04 h	1270 h
W+G	3.89 l	19.3 f	30.5 a	0.51 c	3.9 a	4980 ab
W+K	4.42 kl	31.43 b	19.33 e	0.83 a	3.55 b	4807 bc
W	9.62 cd	20.83 e	8 jk	0.42 de	1.75 fg	1190 hi
SU	9.2 de	2.16 n	0 o	0.08 j	0 j	83.33 l
SU+G	5.93 ij	17.43 g	27 b	0.42 de	3.31 b	4146 d
SU+K	6.6 i	24.83 d	25.16 c	0.51 c	3.55 b	5000 a
SC+SU	12.8 a	2.5 n	0 o	0.09 j	0 j	64 l
SC+G	6.29 ij	6.1 l	13.66 f	0.25 g	2.17 e	1976 g
SC+K	8.61 efg	7.23 k	10.8 gh	0.27 g	1.83 fg	1806 g
ST+SU	8 ed	2.33 n	0 o	0.09 j	0j	13.33 l
ST+SC	8.46 efg	26.66 c	9 ij	0.57 b	1.64 g	1949 g
ST+G	4.79 k	15.4 i	19.66 e	0.4 e	2.71 d	3131 f
ST+K	6.38 ij	42.33 a	14.83 f	0.57 b	1.98 ef	4802 c
ST	8.2 fgh	20.2 ef	9.83 hi	0.57b	1.73 g	1363 h
SC	10.24 c	10.03 j	6.6 lm	0.33 f	1.88 fg	688 k
G	7.54 h	4.5 m	12 g	0.18 i	0.73 i	1298 h
K	8.87 def	4.6 m	7.33 kl	0.26 g	1.78 fg	986 j
G+K	5.65 j	14.83 i	21.66 d	0.46 cd	3.02 c	3602 e
C	11.67 b	2.16 n	2.83 n	0.19 hi	0.72 i	166 l
LSD 0,05	0.832	1.037	1.371	0.052	0.247	174.96

MGT: mean germination time, RL: radicle length, HL: hypocotyl length, RW: radicle biomass, HW: hypocotyl biomass, VI: vigor index. C: control, W: washing, G: gibberellic acid, K: potassium nitrate, ST: stratification, SC: scarification, SU: sulfuric acid.

expansion of hypocotyl cells is driven by the GA-dependent regulation of homeodomain transcription factors and is the principal cellular event in the embryo, which provides a mechanical effect on the radicle and hypocotyl emergence. The endosperm also responds by secreting cell wall-loosening enzymes from the micropilar pole, which weakens attachments between micropylar endosperm cells to facilitate radicle emergence. All these events are under the inhibitory control of ABA in the inactive seed and promoted by GA in germinating seeds (Penfield, 2017).

The highest dry biomass of radicle was achieved in washing + potassium nitrate, stratification + scarification, stratification + potassium nitrate and stratification treatments ($P \leq 0.01$) (table 2). It has been reported that the applying gibberellic acid and potassium nitrate after stratification led to successful *Tuli pakaufmanniana* seed germination, so caused to the highest biomass of radicle (Rouhi *et al.*, 2010). The combination of pre-stratification and gibberellic acid caused to decrease stratification time in many species (Pipinis *et al.*, 2012) and improved seed germination (Koyuncu, 2005). Cold stratification (5 or 1 °C) successfully breaks seed dormancy and seedling growth of other species of *Thalictrum* (Lee *et al.*, 2015).

Washing + gibberellic acid, washing + potassium nitrate, sulfuric acid + gibberellic acid and sulfuric acid + potassium nitrate treatments caused the highest hypocotyl dry

obtuvo con estos tratamientos, parece que las semillas al germinar más rápido, produjeron una radícula más larga. De acuerdo con los resultados de ambos experimentos estudiados, todos los tratamientos con nitrato de potasio produjeron una radícula y plántulas más alta (tabla 2). Hamidi y Pirasteh-Anosheh (2013) reportaron un efecto positivo del nitrato de potasio en la radícula e hipocótilo de girasol. El tratamiento más impresionante en la longitud de la plántula fue la estratificación y nitrato de potasio.

La longitud del hipocótilo estuvo afectado por los tratamientos de remojo + ácido giberélico y ácido sulfúrico + ácido giberélico los cuales fueron mayores que en los otros tratamientos (30 y 27 mm, respectivamente) ($P \leq 0,01$). Los tratamientos con el menor porcentaje de germinación tuvieron el hipocótilo más corto (cuadro 2). Los tratamientos combinados de ácido giberélico fueron efectivos en hipocótilo. Salehi *et al.* (2015) demostraron que el hipocótilo más largo podría ser adquirido mediante remojo + ácido giberélico. Existen excelentes evidencias de estudios que indican que una señal derivada del AG se mueve desde la raíz para activar el metabolismo en las células basales del hipocótilo. La expansión subsecuente de las células del hipocótilo es impulsada por la regulación dependiente del AG proveniente de los factores de transcripción del homeodominio y es el principal evento celular en el embrión, que proporciona un efecto mecánico sobre la radícula y el surgimiento del

biomass. The lowest dry biomass of radicle and hypocotyl were found in the treatments with low GP, low length of radicle and hypocotyl (table 2). Vigor index calculated with GP and length of seedling based on equation 3. The highest vigor was shown in sulfuric acid + potassium nitrate (5000), washing + gibberellic acid (4980), washing + potassium nitrate (4807) and stratification + potassium nitrate treatments ($P \leq 0.01$). The minimum vigor index was obtained in the treatments with low GP and seedling length (table 2). Seed vigor can be utilized to predict successful field establishment under different environments (Grey *et al.*, 2011).

Greenhouse experiment

The results showed that all studied treatments significantly broke Chinese lantern seed dormancy (table 3). The best treatments in terms of EP were sulfuric acid + potassium nitrate (92%) and sulfuric acid + gibberellic acid (89%) compared with control (34%). Our results showed that all studied treatments were superior in laboratory compared to greenhouse conditions in terms of seed dormancy breaking (figure 2). It seems that, the environmental conditions in the laboratory was more favorable than greenhouse. Chinese lantern seeds have combinational dormancy (physical, chemical and physiological). In general, combinational treatments could break Chinese lantern seed dormancy better than non-combinational treatments.

Chinese lantern seed dormancy seems to be first due to a hard seed

hipocótilo. El endospermo también responde segregando enzimas ablandadoras de la pared celular provenientes del polo micropilar, lo cual debilita las uniones entre las células micropilares del endospermo para facilitar la aparición de la radícula. Todos estos eventos están bajo el control inhibitorio del ABA en la semilla inactiva y promovidos por el AG en la germinación de las semillas (Penfield, 2017).

La mayor biomasa seca de la radícula se obtuvo en los tratamientos de remojo + nitrato de potasio, estratificación + escarificación, estratificación + nitrato de potasio y estratificación ($P \leq 0,01$) (cuadro 2). Se ha reportado que la aplicación de ácido giberélico y nitrato de potasio después de la estratificación condujo a la germinación exitosa de las semillas de *Tuli pakaufmanniana*, produciendo así la mayor biomasa de radícula (Rouhi *et al.*, 2010). La combinación de pre-estratificación y ácido giberélico ocasionó la disminución del tiempo de estratificación en muchas especies (Pipinis *et al.*, 2012) y mejoró la germinación de las semillas (Koyuncu, 2005). La estratificación fría (5 o 1 °C) rompió con éxito la latencia de las semillas y favoreció el crecimiento de plántulas de otras especies de *Thalictrum* (Lee *et al.*, 2015).

Los tratamientos de remojo + ácido giberélico, remojo + nitrato de potasio, ácido sulfúrico + ácido giberélico y ácido sulfúrico + nitrato de potasio produjeron la mayor biomasa seca del hipocótilo. La menor biomasa seca de la radícula e hipocótilo fueron encontradas en los tratamientos con

Table 3. Analysis of variance (mean square) for the effects of breaking seed dormancy treatments on germination characteristics of *Physalis alkekengi* in the greenhouse.

Cuadro 3. Análisis de varianza (cuadrados medios) para los efectos de tratamientos de ruptura de latencia de semillas sobre las características de germinación de *Physalis alkekengi* en el invernadero.

	df	EP	MET	RL	HL	RW	HW	VI
Treatment	8	1147.7**	9.9**	152.5**	2.28**	0.101**	0.532**	2922136**
Error	18	14.22	0.051	31.11	0.33	0.0021	0.0061	216210
CV		5.21	1.73	12.39	0.577	11.79	10.11	13.3

df= degrees of freedom, EP= emergency percentage, MET= mean emergence time, RL: radicle length, HL: hypocotyl length, RW: radicle biomass, HW: hypocotyl biomass, VI: vigor index.

** Significant at $P \leq 0.01$.

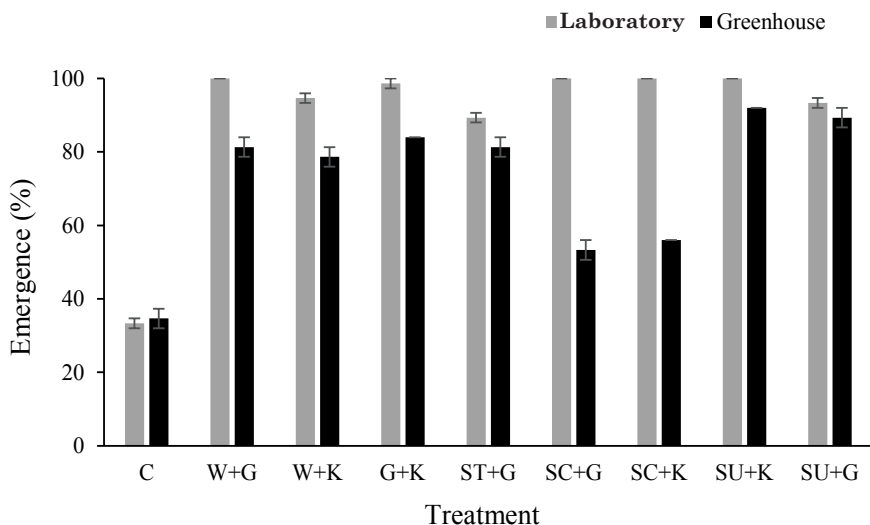


Figure 2. Effects of breaking seed dormancy treatments on germination and emergence percentage (mean±SE) of *Physalis alkekengi* in laboratory and greenhouse condition (C: control, W: washing, G: gibberellic acid, K: potassium nitrate, ST: stratification, SC: scarification, SU: sulfuric acid).

Figure 2. Efectos de tratamientos para ruptura de latencia de semilla en el porcentaje de germinación y emergencia (media±SE) de *Physalis alkekengi* en condiciones de laboratorio e invernadero (C: testigo, R: remojo, G: ácido giberélico, K: nitrato de potasio, ST: estratificación, SC: escarificación, SU: ácido sulfúrico).

coat which does not let water and air pass and second to be due to internal inhibition. Physical and chemical dormancy are essential factors preventing seed germination (Derakhshan and Gherekhloo, 2014). They prevent air and water from entering into seed and embryo to breath (Adkins *et al.*, 2002). Hard seed coats and/or mucilage materials are usually responsible for physical or chemical dormancy. Some mucilage materials were observed around Chinese lantern seeds, Mosavi and Ahmadi (2008) reported that *P. divaricata* seeds contain mucilage around the seeds. Chemical and physical scarifications help seeds to absorb water (Mohammadi *et al.*, 2012). Scarification with sulfuric acid damages seed coat and removes mucilage materials around the seeds, so, sclereid cells let water infiltrate into seeds (Mahmoudzadeh and Bagheri, 2005). Washing usually removes washable components such as mucilage and abscisic acid. It should be noticed that abscisic acid is the most important deterrent germination. Abscisic acid could be removed by washing seeds by tap water (Baskin *et al.*, 1995). Pilcher (1970) showed that washing can break *Opuntia phaeacantha* seed dormancy.

The minimum and the maximum MET were obtained at washing + gibberellic acid (10 days) and control (16 days) treatments, respectively (figure 3). In general, MET was higher than MGT. In other words, seedling emergence in seedbed takes more time than seed germination. Gibberellic acid and abscisic acid balance is

bajo PG, baja longitud de la radícula e hipocótilo (cuadro 2). El índice de vigor se calculó con el PG y la longitud de la plántula según la ecuación 3. El mayor vigor se observó *en* los tratamientos de ácido sulfúrico + nitrato de potasio (5000), remojo + ácido giberélico (4980), remojo + nitrato de potasio (4807) y estratificación + nitrato de potasio ($P \leq 0,01$). El índice de vigor mínimo se obtuvo en los tratamientos con bajo PG y longitud de radícula (cuadro 2). El vigor de la semilla se podría utilizar para predecir el establecimiento exitoso en el campo, bajo diferentes ambientes (Grey *et al.*, 2011).

Experimento de invernadero

Los resultados mostraron que todos los tratamientos estudiados rompieron significativamente la latencia de las semillas de Farolito chino (cuadro 3). Los mejores tratamientos en términos de PE fueron ácido sulfúrico + nitrato de potasio (92%) y ácido sulfúrico + ácido giberélico (89%) en comparación con el testigo (34%). Los resultados de esta investigación mostraron que todos los tratamientos estudiados fueron superiores en laboratorio en comparación con las condiciones de invernadero en términos de ruptura de latencia de la semilla (figura 2). Parece que las condiciones ambientales en el laboratorio fueron más favorables que en el invernadero. Las semillas de Farolito chino presentaron latencia combinada (física, química y fisiológica). En general, los tratamientos combinados podrían romper la latencia de las semillas de Farolito chino mejor que los tratamientos no combinados.

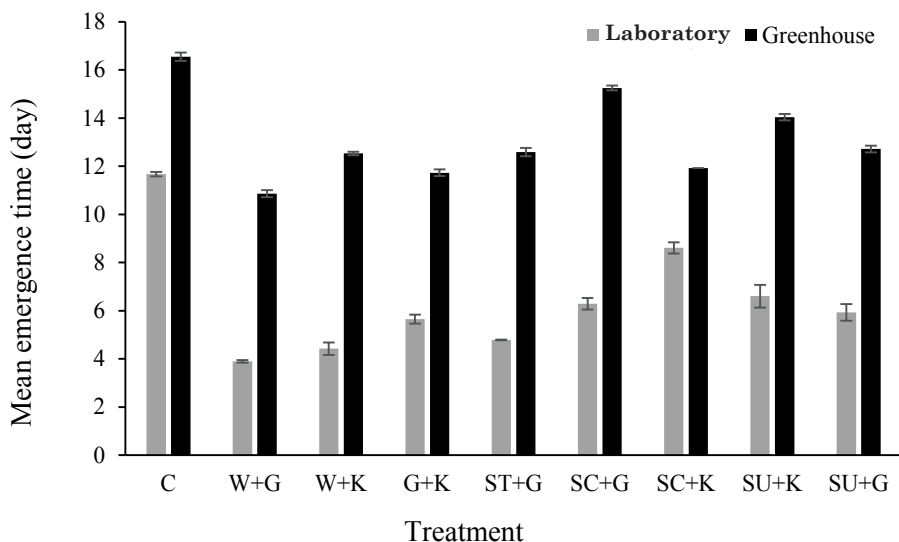


Figure 3. Effects of breaking seed dormancy treatments on mean germination/emergence time (MGT and MET) (mean±SE) of *Physalis alkekengi* in laboratory and greenhouse (C: control, W: washing, G: gibberellic acid, K: potassium nitrate, ST: stratification, SC: scarification, SU: sulfuric acid).

Figura 3. Efectos de los tratamientos para la ruptura de la latencia de las semillas, promedio de la germinación/tiempo de emergencia (TMG y TME) (media±SE) de *Physalis alkekengi* en laboratorio e invernadero (C: Testigo, R: remojo, G: ácido giberélico, K: nitrato de potasio, ST: estratificación, SC: escarificación, SU: ácido sulfúrico).

the main factor which determines Chinese lantern seed dormancy and germination rate (Bewley *et al.*, 2013). Derakhshan and Gherekhloo (2014) reported that *P. angulata* seed dormancy is classified as physiological dormancy because gibberellic acid can break its seed dormancy.

Radicle length was the highest when scarification + gibberellic acid and washing + potassium nitrate treatments were applied (57 and 64 mm, respectively) ($P \leq 0.01$). Overall,

La latencia de las semillas de Farolito chino parece deberse primero, a la dureza de la cubierta, que no permiten la entrada de agua y aire pasen, y segundo a una inhibición interna. La latencia física y química son factores esenciales en la prevención de la germinación de las semillas (Derakhshan y Gherekhloo, 2014). Esto evita que el aire y el agua penetren dentro de las semillas y evitan la respiración del embrión (Adkins *et al.*, 2002). Las coberturas

length of radicle did not vary a lot among the different treatments (table 4). The highest length of hypocotyl was obtained at control (4.66 mm), stratification + gibberellic acid (4.33 mm) and scarification + gibberellic acid (4.33 mm) treatments (table 4). Moreover, the length of Chinese lantern hypocotyl was lower in greenhouse in compare to laboratory condition. The experimental treatments had significant effects on dry biomass of radicle and hypocotyl (table 3). The gibberellic acid combinational treatments were effective on hypocotyl. Also in our study, seed stratification was

duras de las semillas y/o el material mucilaginoso son generalmente responsables de la latencia física o química. Se han observado algunos materiales mucilaginosos alrededor de las semillas de Farolito chino, Mosavi and Ahmadi (2008) reportaron que las semillas de *P. divaricata* contenían mucílago alrededor de las semillas. Las escarificaciones químicas y físicas ayudan a las semillas a absorber agua (Mohammadi *et al.*, 2012). La escarificación con ácido sulfúrico dañó la cubierta de las semillas y eliminó los materiales de mucílago alrededor de las semillas, por lo que las células esclerenquimáticas permitieron que

Table 4. Mean comparison for the effects of breaking seed dormancy treatments on emergence characteristics of *Physalis alkekengi* in greenhouse condition.

Cuadro 4. Comparación de medias de los efectos de tratamientos que rompen la latencia de semillas sobre características de emergencia de *Physalis alkekengi* en condiciones de invernadero.

Treatment	RL (mm)	HL (mm)	RW (mg)	HW (mg)	VI
C	43 cd	4.66 a	0.31 cd	0.41 d	1672 c
W+G	43 cd	4 ab	0.38 c	0.27 e	3841 ab
W+K	54.66 ab	4 ab	0.21 ef	0.5 d	4600 a
G+K	45.33 bc	3.33 bc	0.35 cd	1.07 b	4088 ab
ST+G	42.66 cd	4.33 a	0.15 f	0.27 e	3817 ab
SC+K	38.66 cd	2 d	0.74 a	1.35 a	2162 c
SC+G	57 a	4.33 a	0.54 b	1.27 a	3434 b
SU+K	34.33 d	2.66 cd	0.29 de	0.88 c	3404 b
SU+G	46.33 bc	3.33 bc	0.52 b	0.94 bc	4436 a
LSD 0,05	9.56	0.99	0.079	0.13	797.63

RL: radicle length, HL: hypocotyl length, RW: radicle biomass, HW: hypocotyl biomass, VI: vigor index. C: control, W: washing, G: gibberellic acid, K: potassium nitrate, ST: stratification, SC: scarification, SU: sulfuric acid.

impressive to increase germination. Mosavi and Ahmadi (2008) showed that *P. divaricata* germinated after a stratification period (6 days). It appears in the natural condition, low temperature during winter and early spring could break Chinese lantern seed dormancy. Stratification reduces abscisic acid and increases gibberellic acid contents of seeds and as a result, improves germination (Koornneff *et al.*, 2002; Conner, 2008).

Scarification + potassium nitrate caused the highest radicle dry biomass, and scarification + potassium nitrate and scarification + gibberellic acid treatments caused the highest hypocotyl dry biomass ($P \leq 0.01$) (table 4). The highest amount of vigor index was found in washing + potassium nitrate (4600) and sulfuric acid + gibberellic acid (4436) treatments (table 4). These treatments had high germination percentage and seedling length; so, the highest vigor index (three times higher than control) was acquired.

Gibberellic acid, potassium nitrate, and stratification had significant positive effects on Chinese lantern seed breaking dormancy. Growth regulators through making hormonal balance and reducing germination inhibitors can break seed dormancy (Loch *et al.*, 2004; Aghilian *et al.*, 2014). Gibberellic acid stimulates germination. This hormone hydrolyzes storage seed proteins and converts them to amino acids, as a result, improves germination by hydrolyzing starch (Loch *et al.*, 2004; Soltanipoor *et al.*, 2010). Starch and protein hydrolysis also decreases water

el agua se infiltrara en las semillas (Mahmoudzadeh y Bagheri, 2005). Por lo general, el remojo elimina los componentes lavables, como el mucílago y el ácido abscísico. Debe notarse que el ácido abscísico es el impedimento más importante para la germinación. El ácido abscísico se puede eliminar lavando las semillas con agua del grifo (Baskin *et al.*, 1995). Pilcher (1970) demostró que el remojo podría romper la latencia de las semillas *Opuntia phaeacantha*.

Las TME mínimo y máximo se obtuvieron en los tratamientos de remojo + ácido giberélico (10 días) y el testigo (16 días), respectivamente (figura 3). En general, la TME fue mayor que la TMG. En otras palabras, la emergencia de las plántulas en semillero se toma más tiempo que la germinación de las semillas. El balance del AG y del ácido abscísico es el principal factor que determina la latencia y la tasa de germinación de semillas de Farolito chino (Bewley *et al.*, 2013). Derakhshan y Gherekhloo (2014) reportaron que la latencia de la semilla de *P. angulata* se clasificó como letargo fisiológico porque el AG podría romper la latencia de las semillas.

La mayor longitud de la radícula se presentó cuando se aplicaron los tratamientos de escarificación + ácido giberélico y remojo + nitrato de potasio (57 y 64 mm, respectivamente) ($P \leq 0,01$). En general, la longitud de la radícula no varió mucho entre los diferentes tratamientos (cuadro 4).

La mayor longitud de hipocótilo se obtuvo con el testigo (4,66 mm), estratificación + ácido giberélico (4,33

potential in cells. As a result, cells absorb water and expand (Sarihan *et al.*, 2005). Growth inhibitors also play an important role in physiological dormancy which can be removed by hormones (Adkins *et al.*, 2002). Derakhshan and Gherekhloo, (2014) stated that gibberellic acid break *P. angulata* seed dormancy. Similar results were reported to seed dormancy breaking in Solanaceae family (Zhou *et al.*, 2005; Balaguera-Lopez *et al.*, 2009; Wei *et al.*, 2010).

Conclusions

Eight treatments out of 22 in the laboratory were suitable for Chinese lantern seed breaking dormancy based on studied criteria. These selected treatments in terms of Chinese lantern breaking seed dormancy were studied in greenhouse condition. The results revealed that the best treatments could be selected based on emergence percentage (ET), mean emergence time (MET) and vigor which were washing + gibberellic acid, washing + potassium nitrate, sulfuric acid + gibberellic acid and sulfuric acid + potassium nitrate.

Literature cited

- Adkins, S.W., S.M. Bellair and D.S. Loch. 2002. Seed dormancy mechanisms in warm season grass species. *Euphytica* 126(1):13-20.
- Aghilian, S.H., M. Khajeh-Hosseini and S. Anvarkhah. 2014. Evaluation of seed dormancy in forty medicinal plant species. *Intl. J. Agri. Crop. Sci.* 7(10):760-768.
- AOSA, 2009. Rules for testing seeds. Washington, D.C. USA.

mm) y escarificación + ácido giberélico (4,33 mm) (cuadro 4). Por otra parte, la longitud del hipocótilo de Farolito chino fue menor en el invernadero al compararlo con las condiciones de laboratorio. Los tratamientos experimentales tuvieron efectos significativos sobre la biomasa seca de la radícula y el hipocótilo (cuadro 3). Los tratamientos combinados de ácido giberélico fueron efectivos en el hipocótilo. También en este estudio, la estratificación de las semillas fue impresionante para aumentar la germinación. Mosavi y Ahmadi (2008) demostraron que *P. divaricata* germinó después de un período de estratificación (6 días). En condiciones naturales, las temperaturas bajas durante el invierno y principios de la primavera podrían romper la latencia de las semillas de Farolito chino. La estratificación redujo el contenido de ácido abscísico e incrementó el contenido de ácido giberélico de las semillas y, como resultado, mejoró la germinación (Koornneff *et al.*, 2002; Conner, 2008).

La escarificación + nitrato de potasio produjo la mayor biomasa seca de la radícula, y los tratamientos de escarificación + nitrato de potasio y escarificación + ácido giberélico presentaron la mayor biomasa seca del hipocótilo ($P \leq 0,01$) (tabla 4). El índice de vigor más alto fue encontrado en los tratamientos de remojo + nitrato de potasio (4600) y ácido sulfúrico + ácido giberélico (4436) (cuadro 4). Estos tratamientos tuvieron un alto porcentaje de germinación y longitud de las plántulas; por lo tanto, se adquirió el índice de vigor más alto (tres veces mayor que el testigo).

- Arc, E., J. Sechet, F. Corbineau, L. Rajjou and A. Marion-Poll. 2013. ABA crosstalk with ethylene and nitric oxide in seed dormancy and germination. *Front. Plant Sci.* 4(63):1-19.
- Baalbaki, R.Z., S.G. Elias, J. Marcos-Filho and M.B. McDonald. 2009. Seed vigour testing handbook. AOSA, Ithaca, New York. 341 p.
- Balaguera-Lopez, H.E., J.F. Cardenas-Hernandez and J.G. Alvarez-Herrera. 2009. Effect of gibberellic acid (GA3) on seed germination and growth of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Acta Hort.* 821:141-148.
- Baskin, C.C. and J.M. Baskin. 2014. *Seeds: Ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination*. Two edition. Elsevier/Academic Press, San Diego. 1600 p.
- Baskin, C.C., S.E. Meyer and J.M. Baskin. 1995. Two type morphological dormancy in seeds of two genera (*Osmorhiza* and *Erythronium*) with an arcto-tertiary distribution pattern. *Am. J. Bot.* 82:293-298.
- Baskin, J.M. and C.C. Baskin. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed. Sci. Res.* 14:1-16.
- Batlla, D. and R.L. Benceh-Arnold. 2007. Predicting changes in dormancy level in weed seed soil banks: Implications for weed management. *Crop. Prot.* 26(3):189-197.
- Bewley, J.D., K.J. Bradford, H.W. Hilhorst and H. Nonogaki. 2013. *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy*. Third edition. Springer, New York. 392 p.
- Cembrowska-Lech, D. and J. Kepczynski. 2016. Gibberellin-like effects of KAR (1) on dormancy release of *Avena fatua* caryopses include participation of non-enzymatic antioxidants and cell cycle activation in embryos. *Planta* 243(2):531-548.
- Conner, P.J. 2008. Effects of stratification, germination temperature and pretreatment with gibberellic acid and hydrogen peroxide on germination of Fry Muscadine (*Vitis rotundifolia*) seed. *Hort. Sci.* 43(3):853-856.
- El ácido giberélico, el nitrato de potasio y la estratificación tuvieron efectos positivos significativos en la ruptura de la latencia de las semillas de Farolito chino. Los reguladores del crecimiento a través del balance hormonal y la reducción de los inhibidores de la germinación podrían romper la latencia de las semillas (Loch *et al.*, 2004; Aghilian *et al.*, 2014). El ácido giberélico estimula la germinación. Esta hormona hidroliza las proteínas almacenadas en las semillas y las convierte en aminoácidos, como resultado, mejora la germinación al hidrolizar el almidón (Loch *et al.*, 2004; Soltanipoor *et al.*, 2010). La hidrólisis del almidón y las proteínas disminuyeron el potencial de agua en las células. Como resultado, las células absorben agua y se expanden (Sarihan *et al.*, 2005). Los inhibidores del crecimiento también juegan un papel importante en la latencia fisiológica la cual podría ser eliminada mediante hormonas (Adkins *et al.*, 2002). Derakhshan y Gherekhloo (2014) indicaron que el ácido giberélico rompió la latencia de las semillas de *P. angulata*. Resultados similares fueron reportados en la ruptura de la latencia de las semillas en la familia de las solanáceas (Zhou *et al.*, 2005; Balaguera-Lopez *et al.*, 2009; Wei *et al.*, 2010).

Conclusiones

Ocho de veintidós tratamientos en el laboratorio fueron adecuados para la ruptura de la latencia de las semillas de Farolito chino, basados en los criterios evaluados. Estos tratamientos, seleccionados en términos de la

- Derakhshan, A. and J. Gherekhloo. 2014. Study on some ecological aspects of cutleaf groundcherry (*Physalis angulata* L.) seed germination and dormancy. *J. Plant Prot.* 28(3):416-424.
- Finch-Savage, W.E. and G. Leubner-Metzger. 2006. Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*. 171:501-523.
- Finkelstein, R., W. Reeves, T. Ariizumi and C. Steber. 2008. Molecular aspects of seed dormancy. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59:387-415.
- Footitt, S. and W.E. Finch-Savage. 2017. Dormancy and control of seed germination. *In: Clemens S. (Ed.). Plant physiology and function. The Plant Sciences. Vol. 6. Springer, New York, USA.*
- Gashi, B., K. Abdullai, V. Mata and E. Kongjika. 2012. Effect of gibberellic acid and potassium nitrate on seed germination of the resurrection plants *Ramonda serbica* and *Ramonda nathaliae*. *Afr. J. Biotechnol.* 11(20):4537-4542.
- Ghorbani, R., E. Zeidali and M. Hosseini. 2016. Impact of some environmental factors on germination and emergence characteristics of Black Henbane (*Hyoscyamus niger*), Ground Cherry (*Physalis divaricata*) and Curly Dock (*Rumex crispus*). *J. Crops Ecophysio.* 9(4):661-674.
- Godraty, E., F. Zaefarian, M. Rezvan and I. Mansouri. 2015. Effect of thermo-priming on seed dormancy interruption in Ground Cherries (*Physalis alkekengi*). *J. Agr. Eng. Bio.* 3(4):138-141.
- Graeber, K., K. Nakabayashi, E. Miatton, G. Leubner-Metzger and W.J.J. Soppe. 2012. Molecular mechanisms of seed dormancy. *Plant Cell Environ.* 35(10):1769-1786.
- Grey, T.L., P. John, J. Beasley, T.M. Webster and C.Y. Chen. 2011. Peanut seed vigor evaluation using a thermal gradient. *Int. J. Agron.* 2011:1-7.
- Guimaraes, E.T., M.S. Lima, L.A. Santos, I.M. Ribeiro, T.B. Tomassini, R.R. ruptura de la latencia de las semillas de Farolito chino, fueron estudiados en condiciones de invernadero. Los resultados revelaron que los mejores tratamientos podían ser seleccionados con base al porcentaje de emergencia (PE), el tiempo medio de emergencia (TME) y el vigor; estos fueron: remojo + ácido giberélico, remojo + nitrato de potasio y ácido sulfúrico + ácido giberélico.
- Dossantos, W.L. Dossantos and M.B. Soares. 2009. Activity of physalins purified from *Physalis angulata* invitro and in vivo models of cutaneous leishmaniasis. *J. Antimicrob. Chemother.* 64: 84-87.
- Hamidi, R. and H. Pirasteh-Anosheh. 2013. Comparison effect of different seed priming methods on sunflower germination and seedling growth. *Int. J. Agro. Plant. Prod.* 4(6):1247-1250.
- ISTA. 2010. International rules for seed testing. Glattbrugg, Switzerland. 290 p.
- Koornneff, M., L. Bentsink and H. Hilhorst. 2002. Seed dormancy and germination. *Curr. Opin. Plant. Biol.* 5(1):33-36.
- Koyuncu, F. 2005. Breaking seed dormancy in black mulberry (*Morus nigra* L.) by cold stratification and exogenous application of gibberellic acid. *Acta Biol. Cracov. Ser. Bot.* 47(2):23-26.
- Lee, S.Y., Y.H. Rhie and K.S. Kim. 2015. Non-deep simple morphophysiological dormancy in seeds of *Thalictrum rochebrunianum*, an endemic perennial herb in the Korean Peninsula. *Hort. Environ. Biotechnol.* 56:366-375.

Fin de la versión Español

- Linkies, A. and G. Leubner-Metzger. 2012. Beyond gibberellins and abscisic acid: how ethylene and jasmonates control seed germination. *Plant Cell Rep.* 31(2):253-270.
- Loch, D.S., S.W. Adkins, M.R. Heslehurst, M.F. Paterson and S.M. Bellairs. 2004. Seed formation, development and germination. p. 95-144. *In*: Moser L.E., B.L. Burson and L.E. Sollenberger (Eds.). Warm-season (C4) grasses. First edition. Madison, Wisconsin, USA.
- Mahmoudzadeh, A. and Z. Bagheri. 2005. The effect of different treatments on seeds dormancy and germination of *Datura stramonium*. *Iran. J. Biol.* 4:341-345.
- Maiti, R.K., P. Vidyasagar, S.C. Shahapur, S.K. Ghosh and G.Y. Seiler. 2006. Development and standardization of a simple technique for breaking seed dormancy in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Helia* 45:117-126.
- Matthews, S. and M. Khajeh Hosseini. 2006. Mean germination time as an indicator of emergence performance in soil of seed lots of maize (*Zea mays*). *Seed Sci. Tech.* 34:339-347.
- Mohammadi, G.H., S. Jalali Honarmand, A. ShirKhani and G.H. Shabani. 2012. Effects of seed hardness breaking techniques on okra (*Abelmoschus esculentus* L.) germination. *Int. J. Agri. Crop Sci.* 4(6):264-273.
- Mosavi, S.K. and A.R. Ahmadi. 2008. Effect of environmental factors on seed germination of *Physalis divaricata*. *Entomol. Phytopathol.* 76:10-30.
- Nee, G., Y. Xiang and W.J. Soppe. 2017. The release of dormancy, a wake-up call for seeds to germinate. *Curr. Opin. Plant Biol.* 35:8-14.
- Nonogaki, H. 2014. Seed dormancy and germination-emerging mechanisms and new hypotheses. *Front. Plant Sci.* 5:1-15.
- Penfield, S. 2017. Seed dormancy and germination. *Current. Biol.* 27(17):74-78.
- Pharmacopoeia Commission of PRC. 2015. Pharmacopoeia of the People's Republic of China 2015 ed. China Medical Science Press, Beijing, China.
- Pilcher, B.L. 1970. Germination of seeds of four species of *Opuntia*. *Cactus and Succulent* 42:281-282.
- Pipinis, E., E. Milios, N. Kiamos, O. Mavrokordopoulou and P. Smiris. 2012. Effects of stratification and pre-treatment with gibberellic acid on seed germination of two *Carpinus* species. *Seed Sci. Tech.* 40(1):21-31.
- Quiros, F.C. 1984. Overview of the genetics and breeding of husk tomato. *Hort. Sci.* 19:872-874.
- Rouhi, H.R., K. Shakarami and R.T. Afshari. 2010. Seed treatments to overcome dormancy of waterlily tulip (*Tulipa kaufmanniana* Regel.). *Aust. J. Crop. Sci.* 4:718-721.
- Salehi, A. A., Masoumiasl and A. Moradi. 2015. Evaluation of the effective methods of seed dormancy breaking in medicinal plant of Bilhar (*Dorema aucheri*). *Iran. J. Seed. Res.* 2(1):65-72.
- Sarihan, E.O., A. Ipek, K.M. Khawar, M. Atak and B. Gurbuz. 2005. Role of GA₃ and KNO₃ in improving the frequency of seed germination in *Plantago lanceolata* L. Pakistan. *J. Bot.* 37(4):883-887.
- SAS Institute, Inc. 2002. Statistical Analysis System. SAS Institute Inc., Cary, N.C., USA.
- Soltanipoor, M.A., R. Asadpoor, A. Hajebi and N. Moradi. 2010. Study of pre-treatments on seed germination of *Foeniculum vulgare* L., *Salvia sharifii* Rech. et Esfand. and *Abutilon fruticosum* Guill. et Perr. *Iranian J. Medic. Arom. Plants* 25(4):528-539.
- Sultana, N., M.A. Hassan, M. Begum and M. Sultana. 2008. *Physalis angulata* L. (Solanaceae) -a new angiosperm record for Bangladesh. *Bangladesh. J. Bot.* 37(2):195-198.

- Suzuki, Y. and T. Saito. 1967. Photo-thermal and chemical-induction in seed germination of *Physalis alkekengi*. Sci. Rep. 19:37-46.
- Travlos, I.S. 2012. Invasiveness of cut-leaf ground-cherry (*Physalis angulata* L.) populations and impact of soil water and nutrient availability. Chil. J. Agr. Res. 72(3):358-363.
- Wei, S., C. Zhang, X. Chen, X. Li, B. Sui, H. Huang, H. Cui, Y. Liu, M. Zhang and F. Guo. 2010. Rapid and effective methods for breaking seed dormancy in buffalobur (*Solanum rostratum*). Weed Sci. 58(2):141-146.
- Yu, Y., L. Sun, L. Ma, J. Li, L. Hu and J. Liu. 2010. Investigation of the immunosuppressive activity of *Physalin* H on T lymphocytes. Int. Immunopharmacol. 10:290-297.
- Zare, S., A. Tavili and M.J. Darini. 2011. Effects of different treatments on seed germination and breaking seed dormancy of *Prosopis koelziana* and *Prosopis juliflora*. J. For. Res. 22(1):35-38.
- Zhou, J., E.L. Deckard and C.G. Messersmith. 2005. Factors affecting eastern black nightshade (*Solanum ptycanthum*) seed germination. Weed Sci. 53(5):651-656.