

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201906043

李鹏, 陈其皎, 石桃雄, 等. 甜荞果皮开裂类型及其对籽粒早期萌发性状的影响 [J]. 广西植物, 2020, 40(7): 954-962.
LI P, CHEN QJ, SHI TX, et al. Cracking types of common buckwheat pericarp and its effect on early germination traits [J]. *Guihaia*, 2020, 40(7): 954-962.

甜荞果皮开裂类型及其对籽粒早期萌发性状的影响

李鹏¹, 陈其皎^{1,2*}, 石桃雄^{1,2}, 孟子焯^{1,2}, 梁成刚^{1,2}, 汪燕^{1,2}, 陈庆富^{1,2}

(1. 贵州师范大学植物遗传育种研究所, 贵阳 550001; 2. 贵州省荞麦工程技术研究中心, 贵阳 550001)

摘要: 甜荞是我国传统的药食同源植物, 籽粒是甜荞的重要贮藏器官, 籽粒果皮的开裂类型及其开裂行为影响种子的萌发性状。该研究以 5 份甜荞为材料, 进行果皮裂口的建模与分型, 并通过纸床发芽法, 检测种子的发芽率、胚根及下胚轴长度。结果表明: (1) 甜荞籽粒果皮开裂主要包括纵向完全开裂型、种孔端部半开裂型、种脊中部半开裂型、种脐端部半开裂型和横裂型等 5 种类型; (2) 开裂型籽粒比完整型萌发时间提早约 12 h; (3) 开裂型籽粒早期萌发率均高于相应的果皮完整型, 但 48 h 后, 完整型籽粒的萌发率超过果皮开裂型; (4) 开裂型籽粒胚根及下胚轴的早期增长速度比完整型快, 但果皮开裂型籽粒胚根与下胚轴增长比值显著小于果皮完整型; (5) 不同开裂类型的萌发率从大到小依次为种孔端部半开裂型、纵向完全开裂型、种脊中部半开裂型、种孔端部半开裂型、横裂型, 而种子霉烂率从大到小依次为种脊端部半开裂型、纵向完全开裂型、种脊中部半开裂型、种孔端部半开裂型、横裂型。果皮开裂虽然可以提高甜荞种子早期的萌发率, 促进胚根及下胚轴早期的伸长速度, 但会降低甜荞整体的萌发率以及胚根/下胚轴增长比值, 种子霉烂率显著增加, 不利于田间壮苗与全苗的形成。

关键词: 甜荞, 籽粒, 果皮开裂, 萌发特性

中图分类号: Q945 文献标识码: A

文章编号: 1000-3142(2020)07-0954-09

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Cracking types of common buckwheat pericarp and its effect on early germination traits

LI Peng¹, CHEN Qijiao^{1,2*}, SHI Taoxiong^{1,2}, MENG Ziyue^{1,2},
LIANG Chenggang^{1,2}, WANG Yan^{1,2}, CHEN Qingfu^{1,2}

(1. *Institution of Plant Genetic and Breeding, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;*

2. *Buckwheat Engineering Technology Research Center of Guizhou, Guiyang 550001, China*)

收稿日期: 2019-06-24

基金项目: 国家自然科学基金(31660424, 31460280); 贵州省科技计划项目(黔科合基础[2016]1106, 黔科合 LH 字[2015]7769, 黔科合平台人才[2017]5726); 贵州省教育厅自然科学研究项目(黔教合 KY 字[2017]002, 黔教合 KY 字[2015]443); 贵州省留学人员科技创新项目(黔人项目资助合同(2016)25); 贵州师范大学资助博士科研项目 [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31660424, 31460280); Natural Science Foundation of Guizhou Province (QKHJC[2016]1106, QKHLH[2015]7769, Platform Talent Foundation [2017]5726); Natural Science Foundation of Department of Education in Guizhou Province (QJHKY[2017]002, QJHKY[2015]443); Scientific Research Foundation for the Returned Overseas in Guizhou Province (QRXM(2016)25); Doctoral Research Foundation of Guizhou Normal University]。

作者简介: 李鹏(1994-), 男, 河北张家口人, 硕士研究生, 研究方向为作物性状的分子改良, (E-mail) lipedu@163.com。

* **通信作者:** 陈其皎, 博士, 副研究员, 研究方向为作物遗传育种, (E-mail) qjchen@gznu.edu.cn。

Abstract: Common buckwheat, a traditional edible and medical plant, which grain is an important storage organ. However, types of husk-cracking of common buckwheat and its germination effects is a scientific and technological problem to be solved. In the present study, five samples of common buckwheat were used as materials. The grain model of common buckwheat was established and the types of pericarp cracking were classified; at the same time, through the paper bed germination method, testing the seed germination rate, the radicle and hypocotyl length. The results were as follows: (1) There are five kinds of cracking types in the grain of common buckwheat, which are longitudinal complete dehiscence type (LCD), semi-dehiscent micropyle (SDM), semi-dehiscent mid-ridge (SDMR), semi-dehiscent hilum (SDH) and transverse cracking type (TC); (2) Five test common buckwheat pericarp cracked type germinates about 12 hours earlier than the pericarp intact type; (3) The early germination rate of common buckwheat varieties with pericarp cracking was higher than that of the corresponding pericarp intact type, however, 48 h later, the germination rate of seeds with intact pericarp continued to increase, and exceeded that of all pericarp cracked types; (4) On the extension characteristics of radicle and hypocotyl, although the growth rate of radicle and hypocotyl of pericarp cracking type were faster than that of intact type of pericarp, the ratio of radicle to hypocotyl of intact pericarp type was higher than that of pericarp cracking type; (5) Different type of pericarp cracking had different effects on seed germination, from big to small, which is SDM, SDH, LCD, SDMR and TC, respectively. Different type of pericarp cracking had different mildew rate, from big to small, which is SDH, LCD, SDMR, SDM and TC. There are five common cracking types in common buckwheat grain pericarp; although pericarp cracking can improve the early germination rate of common buckwheat seeds and promote the early extension rate of radicle and hypocotyl, it can reduce the germination rate and the ratio of radicle to hypocotyl growth of common buckwheat as a whole, it may not be conducive to the formation of strong seedlings and whole seedlings in the field.

Key words: common buckwheat, grain, husk cracking, germination traits

荞麦起源于中国西南地区,为蓼科荞麦属一年生草本植物,生育期短,一般 60~80 d 就能成熟,主要包括甜荞(*Fagopyrum esculentum*)和苦荞(*F. tataricum*)两个栽培种。甜荞因与苦荞相比种子及其制品不苦而得名,是分布广泛的荞麦栽培种类,在山区杂粮和饲料生产中占有重要地位(严伟和张本能,1995;何崑等,2011;陈庆富,2012)。甜荞果皮革质,坚硬厚实,表面与边缘光滑(林汝法,1994)。果皮对种子的胚、胚乳等内含物的阻碍作用可能是由于果(种)皮致密的物理或化学特性引起,从而影响种子对水、气体或溶质的透性(杨期和等,2003;闫翠香等,2014)。果(种)皮所引起的休眠现象在国内外皆有报道(Hopper et al., 1985;刘艳等,2012),例如,去除种皮可促进乌桕树种子早期发芽(Shah et al., 2018);去除果皮可以使水青冈种子发芽率增大,并提早萌发(方小平和刘映良,2009)。果(种)皮的机械阻碍、不透水性和不透气性是阻碍种子萌发的重要原因(Hilhorst, 1995),研究发现青钱柳果皮和种皮存在一定的机械束缚和透水、透气性障碍

(尚旭岚等,2011);小麦种皮主要通过限制胚部的氧气供应,对胚起物理阻碍作用而诱导休眠(刘晓冰和张秋英,1990)。除了对种子内含物的物理束缚作用外,果(种)皮中还含有抑制胚萌发的物质(Agrawal & Dadlani, 1995;许晓岗等,2012),如栎属(*Quercus*)植物种皮和野芥(*Sinapis arvensis*)的种皮中均含有抑制萌发的物质(Hillman et al., 1969;李庆梅等,2013)。种皮开裂种子容易受到害虫蛀蚀且不利于水分的保持(Gaur et al., 2012),水稻裂颖种子不耐储藏,随储藏时间的延长,裂颖种子的生活力迅速衰退,发芽率和发芽势降低,秧苗素质差,并严重影响自然混合种子群体的发芽及幼苗生长(刘洪伟等,2009)。甜荞籽粒贮存过程中部分种子的果皮自然开裂,破损的果皮可能对种子水分维持、病原菌隔离、虫害鸟害的预防、种子内含物的束缚能力等方面带来一定程度的改变,进而影响到种子的萌发与贮藏品质等系列性状。萌发是一种重要的行为,决定着种群的繁衍及作物的产量(Weitbrecht et al., 2011; Rajjou et al., 2012;徐恒恒等,

2014)。迄今,国内外尚未有对甜荞果皮开裂类型、裂口性状对种子萌发的影响进行报道。本研究拟对甜荞种子果皮的开裂类型及对籽粒萌发早期性状进行了测定,为此类种质资源的发掘及遗传研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

5份具有不同来源地的高产供试甜荞品种(系)分别为蒙0208、蒙0530、定甜荞2号、信农1号、榆荞4号,由贵州师范大学荞麦产业技术研究中心种质资源室保存,贮存条件为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$,贮存期为5~6 a。

1.2 方法

1.2.1 果皮开裂类型分析 从5份供试甜荞品种(系)中分别选取果皮开裂籽粒1 000粒,构建甜荞籽粒模型,以种孔为起点,沿着种脊往果脐方向测量果皮的裂口程度与方向,并进行命名分类。

1.2.2 种子萌发及性状统计 (1)甜荞种子萌发参照《种子检验原理与技术》(颜启传,2000)并做如下改动:采用纸床发芽法,籽粒间距为三倍荞麦种子长度,每发芽盒均匀摆放60粒种子,裂口面统一朝下,每发芽盒加入3 mL去离子水,并排放于RXZ型智能人工气候箱中(宁波江南仪器厂);培养程序为 $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 6 000 lx光照培养8 h, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 黑暗培养16 h。(2)萌发性状包括萌发率、下胚轴及胚根长度;测量方法参考《种子学》(毕辛华等,1993),测量时间间隔为12 h,采用游标卡尺进行。(3)种子霉烂率统计方法参考红蓼种子萌发期霉变计算方法进行统计(姚艳蓉等,2018)。

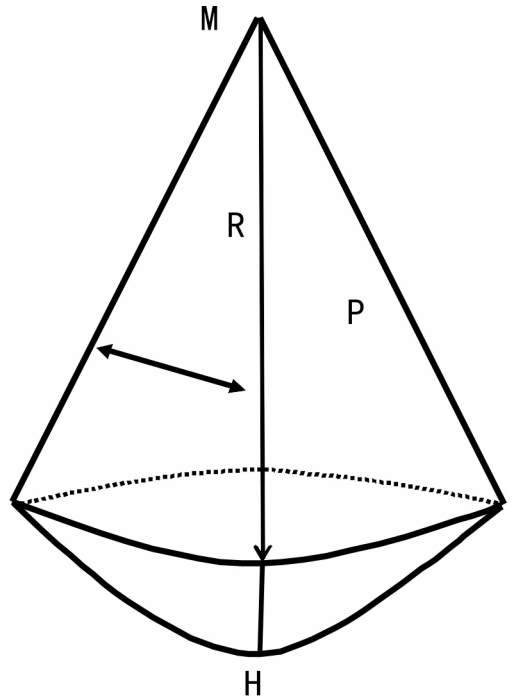
1.3 数据处理

采用WPS Office 2019进行数据统计。

2 结果与分析

2.1 甜荞果皮开裂性状分类

根据裂口在甜荞果皮表面的空间位置和裂口走向,将甜荞果皮裂口分为纵裂型与横裂型2种,并根据裂口程度将前者划分成4种亚型(图1,图2)。



↔ 横裂型; → 纵裂型; M. 种孔; R. 种脊; P. 种皮; H. 种脐。

↔ Transverse cracking type; → Longitudinal fissure type; M. Micropyle; R. Raphe; P. Pericarp; H. Hilum.

图1 甜荞籽粒开裂模式图

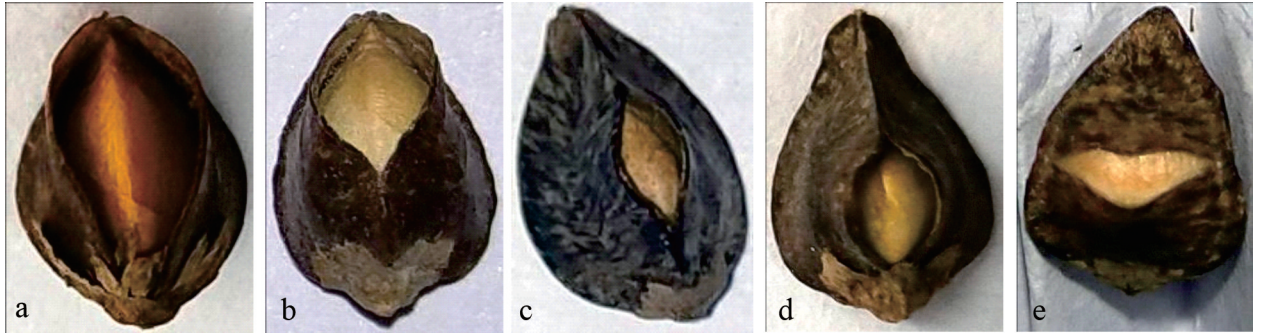
Fig. 1 Husk cracking pattern of common buckwheat

2.1.1 纵裂型 以种孔为起点,沿着种脊往果脐方向开裂,根据开裂程度,可分为纵向完全开裂型、种孔端部半开裂型、种脊中部半开裂型和果脐端部半开裂型等四种类型。从5份供试甜荞品种(系)中分别随机选取1 000粒种子,统计其果皮开裂类型,其中纵向完全开裂型有98粒,约占5%。可根据果皮的裂开程度与位置来进行划分。

2.1.1.1 纵向完全开裂型 种脊沿着种孔基部或近种孔基部十分之一种脊端部至果脐基部或近果脐基部十分之一种脊端部完全开裂,果皮向外收缩翻卷,致使包裹有胚乳的果皮一棱或多棱向外凸出暴露(图2:a)。

2.1.1.2 种孔端部半开裂型 种脊沿着种孔基部至近种孔基部三分之二种脊端部完全开裂,果皮向外收缩翻卷,致使包裹有胚乳的种孔处果皮向外凸出暴露(图2:b)。

2.1.1.3 种脊中部半开裂型 种脊沿着近种孔基部



a. 纵向完全开裂型；b. 种孔端部半开裂型；c. 种脊中部半开裂型；d. 种脐端部半开裂型；e. 横裂型。
 a. Longitudinal complete dehiscence type (LCD)；b. Semi-dehiscent type of micropyle (SDM)；c. Semi-dehiscent type of mid-ridge (SDMR)；
 d. Semi-dehiscence type of hilum (SDH)；e. Transverse cracking type (TC).

图 2 甜荞籽粒开裂图

Fig. 2 Classification of husk cracking in common buckwheat grain



a. 横裂型；b. 种脊中部半开裂型；c. 种脐端部半开裂型；d. 种孔端部半开裂型；e. 纵向完全开裂型；f. 完整型。
 a. Transverse cracking type (TC)；b. Semi-dehiscent type of mid-ridge (SDMR)；c. Semi-dehiscence type of hilum (SDH)；d. Semi-dehiscence
 type of micropyle (SDM)；e. Longitudinal complete dehiscence type (LCD)；f. Intact pericarp (IP).

图 3 不同开裂类型胚根及下胚轴萌发差异图

Fig. 3 Comparison of germination of radicle and hypocotyl in different cracking types

三分之一种脊端部至近种脐基部三分之一种脊端部完全开裂，果皮向外收缩翻卷，致使包裹有胚乳的种脊中部处果皮向外凸出暴露(图 2:c)。

2.1.1.4 种脐端部半开裂型 种脊沿着种脐基部至近种脐基部三分之一种脊端部完全开裂，果皮向外收缩翻卷，致使包裹有胚乳的种脐处果皮向外

凸出暴露(图 2:d)。

2.1.2 横裂型 在果皮任意一侧或两侧沟面上,种孔基部与种脐基部连线的垂直平分线处的或平行垂直平分线处的果皮完全开裂,果皮向外收缩翻卷,致使包裹有胚乳的一侧或两侧的种孔基部与种脐基部连线的垂直平分线处的或平行垂直平分线处的果皮向外凸出暴露(图 2:e)。

2.2 不同果皮开裂类型对甜荞早期萌发性状的影响

2.2.1 横裂型对甜荞种子早期萌发率及胚根、下胚

轴生长的影响 如表 1、表 2 及图 3 所示,24 h 内,5 种不同甜荞果皮横裂型籽粒萌发率均大于果皮完整型籽粒,但 48 和 60 h,果皮完整型籽粒萌发率持续上升,超过了全部果皮横裂型;比较胚根增长速度,60 h 内,除蒙 0208 外,果皮完整型均大于果皮横裂型;比较下胚轴增长速度,除信农 1 号外,完整型整体比横裂型增长速度慢;比较胚根与下胚轴增长比值(即 $\Delta RL/\Delta HL$),果皮完整型大于果皮横裂型。

表 1 果皮开裂与否对 5 种甜荞种子早期萌发率的影响

Table 1 Effects of husk cracking on early germination rate of five common buckwheat grains

供试材料 varieties	横裂型 Transverse cracking type				种孔端部半开裂型 Semi-dehiscent type of micropyle				种脐端部半开裂型 Semi-dehiscence type of hilum				纵向完全开裂型 Longitudinal complete dehiscence type				种脊中部半开裂型 Semi-dehiscent type of mid-ridge				果皮完整 Intact pericarp			
	12 h	24 h	48 h	60 h	12 h	24 h	48 h	60 h	12 h	24 h	48 h	60 h	12 h	24 h	48 h	60 h	12 h	24 h	48 h	60 h	12 h	24 h	48 h	60 h
榆荞 4 号 Yujiao No.4	10.0	46.7	50.0	50.0	3.3	73.3	90.0	90.0	3.3	70.0	86.7	86.7	13.3	80.0	90.0	90.0	16.7	80.0	83.3	83.3	1.7	43.3	86.7	86.7
蒙 0208 Meng0208	26.7	70.0	83.3	83.3	43.3	83.3	93.3	93.3	46.7	73.3	73.3	73.3	36.7	86.7	90.0	90.0	46.7	76.7	76.7	76.7	1.7	65.0	88.3	88.3
蒙 0530 Meng0530	13.3	70.0	73.3	73.3	36.0	66.7	73.3	73.3	21.0	70.0	70.0	70.0	13.3	66.7	70.0	70.0	16.7	46.7	56.7	56.7	0.0	36.7	85.0	86.7
定甜荞 2 号 Dingtian No.2	6.7	80.0	83.3	83.3	30.0	66.7	73.3	73.3	30.0	63.3	70.0	70.0	3.3	73.3	76.7	76.7	26.7	73.3	83.3	83.3	16.7	66.7	86.7	88.3
信农 1 号 Xinnong No.1	16.7	63.3	65.0	65.0	16.7	76.7	78.3	78.3	61.7	90.0	90.0	93.3	15.0	63.3	66.7	66.7	18.3	63.3	65.0	65.0	5.0	71.7	98.3	98.3

2.2.2 种孔端部半开裂型对甜荞种子早期萌发率及胚根、下胚轴生长的影响 如表 1、表 2 及图 3 所示,24 h 内,5 种不同甜荞果皮种孔端部半开裂型籽粒萌发率均大于果皮完整型籽粒,48 和 60 h,榆荞 4 号和蒙 0208 种孔开裂型籽粒萌发率均大于果皮完整型籽粒,这对于旱区的抢时萌发极为有利;比较胚根增长速度,60 h 内,除蒙 0208 和蒙 0530 外,果皮完整型均大于种孔端部半开裂型;比较下胚轴增长速度,除定甜荞 2 号外,完整型整体比种孔端部半开裂型增长速度慢;比较胚根与下胚轴增长比值(即 $\Delta RL/\Delta HL$),除蒙 0530 外,果皮完整型大于种孔端部半开裂型。

2.2.3 种脐端部半开裂型对甜荞种子早期萌发率及胚根、下胚轴生长的影响 如表 1、表 2 及图 3 所示,24 h 内,5 种不同甜荞果皮种脐端部半开裂型籽粒萌发率均大于果皮完整型籽粒,48 和 60 h 果皮完整型籽粒萌发率持续上升,超过了全部种

脐端部半开裂型;比较胚根增长速度,60 h 内,除蒙 0208 外,果皮完整型均大于种脐端部半开裂型;比较下胚轴增长速度,除蒙 0530 外,完整型整体比种脐端部半开裂型增长速度快;比较胚根与下胚轴增长比值(即 $\Delta RL/\Delta HL$),果皮完整型大于种脐端部半开裂型。

2.2.4 纵向完全开裂型对甜荞种子早期萌发率及胚根、下胚轴生长的影响 如表 1、表 2 及图 3 所示,24 h 内,5 种不同甜荞果皮纵向完全开裂型籽粒萌发率均大于果皮完整型籽粒,48 h 和 60 h 除榆荞 4 号和蒙 0208 外,纵向完全开裂籽粒萌发率均大于果皮完整型籽粒,这对于旱区的抢时萌发极为有利;比较胚根增长速度,60 h 内,除蒙 0208 外,果皮完整型均大于纵向完全开裂;比较下胚轴增长速度,除榆荞 4 号和定甜荞 2 号外,完整型整体比纵向完全开裂型增长速度慢;比较胚根与下胚轴增长比值(即 $\Delta RL/\Delta HL$),果皮完整型大于纵

表 2 果皮开裂与否对 5 种甜荞种子萌发早期下胚轴及胚根长度的影响
Table 2 Effects of husk cracking and peel integrity on hypocotyl and radicle length of five sweet buckwheat seeds at early germination stage

供试材料 Varieties	性状 Traits	横裂型 Transverse cracking type					种孔端部半开裂型 Semi-dehiscent type of micropyle					种脐端部半开裂型 Semi-dehiscence type of hilum				
		48 h	64 h	ΔL	$\frac{\Delta L}{L48h}$	$\frac{\Delta RL}{\Delta HL}$	48 h	64 h	ΔL	$\frac{\Delta L}{L48h}$	$\frac{\Delta RL}{\Delta HL}$	48 h	64 h	ΔL	$\frac{\Delta L}{L48h}$	$\frac{\Delta RL}{\Delta HL}$
		榆荞 4 号 Yuqiao No.4	胚根 Radicle	1.86	4.00	2.14	1.15	4.37	1.64	3.68	2.04	1.24	4.60	1.79	3.67	1.88
	下胚轴 Hypocotyl	0.53	1.02	0.49	0.92		0.50	0.94	0.44	0.88		0.50	0.88	0.38	0.75	
蒙 0208 Meng0208	胚根 Radicle	3.10	6.82	3.72	1.20	9.28	3.34	6.71	3.37	1.01	7.28	3.20	6.94	3.74	1.17	9.32
	下胚轴 Hypocotyl	0.62	1.02	0.40	0.65		0.65	1.12	0.46	0.71		0.48	0.89	0.40	0.83	
蒙 0530 Meng0530	胚根 Radicle	1.83	4.62	2.79	1.52	5.07	2.18	5.27	3.09	1.42	7.92	2.06	4.82	2.76	1.34	3.63
	下胚轴 Hypocotyl	0.50	1.05	0.55	1.10		0.65	1.04	0.39	0.60		0.65	1.41	0.76	1.17	
定甜荞 2 号 Dingtian No.2	胚根 Radicle	2.52	5.03	2.51	1.00	3.75	1.78	3.55	1.77	1.00	6.56	2.14	4.92	2.78	1.30	8.17
	下胚轴 Hypocotyl	0.68	1.35	0.67	0.99		0.53	0.80	0.27	0.51		0.46	0.80	0.34	0.74	
信农 1 号 Xinnong No.1	胚根 Radicle	2.75	5.28	2.53	0.92	9.11	3.07	5.34	2.27	0.74	3.70	2.43	4.47	2.04	0.84	4.47
	下胚轴 Hypocotyl	0.65	0.92	0.28	0.43		0.80	1.41	0.61	0.77		0.59	1.04	0.46	0.78	

供试材料 Varieties	性状 Traits	纵向完全开裂型 Longitudinal complete dehiscence type					种脊中部半开裂型 Semi-dehiscent type of mid-ridge					果皮完整 Intact pericarp				
		48 h	64 h	ΔL	$\frac{\Delta L}{L48h}$	$\frac{\Delta RL}{\Delta HL}$	48 h	64 h	ΔL	$\frac{\Delta L}{L48h}$	$\frac{\Delta RL}{\Delta HL}$	48 h	64 h	ΔL	$\frac{\Delta L}{L48h}$	$\frac{\Delta RL}{\Delta HL}$
		榆荞 4 号 Yuqiao No.4	胚根 Radicle	1.32	3.36	2.04	1.55	5.24	1.73	3.58	1.85	1.07	3.49	1.58	4.04	2.46
	下胚轴 Hypocotyl	0.43	0.82	0.39	0.91		0.42	0.95	0.53	1.27		0.47	0.91	0.44	0.94	
蒙 0208 Meng0208	胚根 Radicle	3.34	6.95	3.61	1.08	4.17	3.30	6.48	3.18	0.96	7.50	3.2	6.43	3.23	1.01	10.42
	下胚轴 Hypocotyl	0.76	1.63	0.87	1.14		0.58	1.01	0.42	0.73		0.62	0.93	0.31	0.50	
蒙 0530 Meng0530	胚根 Radicle	1.78	4.43	2.65	1.49	3.73	1.78	4.42	2.64	1.48	17.60	1.91	5.05	3.14	1.64	6.54
	下胚轴 Hypocotyl	0.53	1.24	0.71	1.34		0.55	0.70	0.15	0.27		0.56	1.04	0.48	0.86	
定甜荞 2 号 Dingtian No.2	胚根 Radicle	2.28	4.19	1.91	0.84	8.31	2.20	4.97	2.77	1.25	4.85	2.16	5.97	3.81	1.76	9.29
	下胚轴 Hypocotyl	0.52	0.75	0.23	0.44		0.57	1.14	0.57	1.00		0.52	0.93	0.41	0.79	
信农 1 号 Xinnong No.1	胚根 Radicle	2.71	4.69	1.98	0.73	5.57	2.58	5.32	2.74	1.06	4.71	2.69	7.03	4.34	1.61	9.64
	下胚轴 Hypocotyl	0.71	1.06	0.36	0.50		0.61	1.19	0.58	0.95		0.6	1.05	0.45	0.75	

注：RL 为胚根平均长度；HL 为下胚轴平均长度。

Note: RL and HL represent average seedling radicle length and average seedling hypocotyl length, respectively.

向完全开裂型。

2.2.5 种脊中部半开裂型对甜荞种子早期萌发率及胚根、下胚轴生长的影响 如表1、表2及图3所示,24 h内,5种不同甜荞果皮种脊中部半开裂型粒萌发率均大于果皮完整型籽粒,但48和60 h果皮完整型籽粒萌发率持续上升,超过了全部种脊中部半开裂型;比较胚根增长速度,60 h内,除蒙0530果皮完整型均大于种脊中部半开裂型;比较下胚轴增长速度,除蒙0530外,完整型整体比种脊中部半开裂型增长速度慢;比较胚根与下胚轴增长比值(即 $\Delta RL/\Delta HL$),除蒙0530外,果皮完整型大于种脊中部半开裂型。

果皮开裂与否对供试的5种甜荞种子早期萌发率的结果列于表1中。12 h时,5种甜荞果皮完整的不同甜荞平均萌发率为2.0%,萌发率最高的为信农1号,为5.0%;果皮开裂的甜荞平均萌发率为22.9%,萌发率最高的为蒙0208,为40.0%。24 h时,5种果皮完整的不同甜荞平均萌发率为56.7%,萌发率最高的为信农1号,为71.7%;果皮开裂的甜荞平均萌发率为70.9%,萌发率最高的为蒙0208,为78.0%。48 h时,5种果皮完整的不同甜荞平均萌发率为89%,萌发率最高的为信农1号,为98.3%;果皮开裂的甜荞平均萌发率为76.5%,萌发率最高的为蒙0208,为83.3%。60 h时,5种果皮完整的不同甜荞平均萌发率为89.7%,萌发率最高的为信农1号,为98.3%;果皮开裂的甜荞平均萌发率为76.6%,萌发率最高的为蒙0208,为83.3%。5个供试甜荞中5 h的果皮开裂品种其萌发率都高于果皮完整型;48 h和60 h的果皮完整型种子的萌发率持续上升,超过了全部的果皮开裂型;48 h以后,果皮开裂型种子的萌发率达到峰值,果皮开裂导致供试甜荞种子萌发率的降低。

开裂种子由于缺少种皮的阻隔,吸胀吸水阶段的吸水速度快,萌发时间所需时间缩短,24 h即达到萌发高峰,此后的萌发率变化很少;完整籽粒则在48 h达到萌发高峰,此后增速放缓。从整体萌发率来看,果皮完整型籽粒的整体萌发率高于开裂型种子。

如表2所示,比较胚根的平均增长速度,48 h

内,籽粒开裂型均比籽粒完整性快;48~64 h除蒙0208外,其余材料的籽粒不开裂型整体比开裂型的大;比较下胚轴的增长速度,不开裂材料整体比开裂的增长速度慢。比较胚根平均增长长度与48 h胚根平均长度比值(即 $\Delta L/L_{48h}$),除蒙0208外,其余材料籽粒不开裂的整体表现都比开裂的大;比较胚根与下胚轴增长比值(即 $\Delta RL/\Delta HL$),全部供试甜荞材料都表现为果皮完整型显著大于果皮开裂型。这对于子叶出土型的甜荞而言,其田间表型为完整型种子在幼苗期有更快的根系生长速度,有助于稳定株型构建、苗期抗旱性形成以及苗期更强的抗倒伏能力。

2.2.6 不同开裂类型萌发期的种子霉烂率 开裂类型种子从播种后36 h开始出现霉烂现象,5种甜荞供试材料72 h霉烂种子平均占比依次为种脐端部半开裂型(7.2%)、纵向完全开裂型(6.7%)、种脊中部半开裂型(6.2%)、种孔端部半开裂型(5.0%)、横裂型(3.8%),而作为对照的完整籽粒的霉烂发生率为0.8%。

3 讨论与结论

3.1 果皮开裂对甜荞萌发起始阶段的促进作用

在甜荞萌发起始阶段(0~24 h),5种不同开裂类型的萌发率从大到小依次为纵向完全开裂型、种孔端部半开裂型、种脐端部半开裂型、种脊中部半开裂型、横裂型,均高于果皮完整型。本研究结果表明,不同果皮开裂品种在萌发率上虽然存在差异,但由于局部或者全部果皮的破损,打破了种子内含物与外界的物理屏障,使得外界的水分直接通过裂口进入胚乳,显著缩短了甜荞种子吸胀吸水过程的时间,从而使开裂型甜荞提早12 h萌发。这种属性对于旱区甜荞的抢墒、抢时萌发极为有利,但具体的影响机制还有待于深入研究。

3.2 果皮开裂加快甜荞下胚轴和胚根的生长速度

种子萌发早期,5种不同开裂类型甜荞下胚轴平均长度从大到小依次为纵向完全开裂型、种孔端部半开裂型、横裂型、种脐端部半开裂型和种脊中部半开裂型;不同开裂类型甜荞胚根平均长度从大到小依次为横裂型、种脐端部半开裂型、种脊

中部半开裂型、种孔端部半开裂型和纵向完全开裂型。在种子萌发的起始阶段,果皮开裂种子的下胚轴和胚根的生长速度均大于果皮完整型。推测原因可能是由于缺少果皮的束缚,其胚根突破种皮需要的阻力较小或者消失,其生长速度超过了正常种子,表现在下胚轴与胚根的伸长速度上。

3.3 甜荞果皮开裂对种子萌发的不利影响

果皮开裂增加了种子霉变的风险。种子的种皮具有保持水分、降低病原菌危害的保护性机制,如橡胶树 (*Hevea brasiliensis*)、细枝岩黄芪 (*Hedysarum scoparium*) (闫兴富和曹敏,2009; Hu et al.,2009)。种皮是种子抵御恶劣环境条件的主要防御措施 (Mohamed-Yasseen et al.,1994),较硬的种皮不仅能保护种子免受机械应力的影响,而且还能防止微生物入侵,防止种子在储存过程中温度和湿度的波动。当种皮发生开裂会对种子产生巨大的影响,如在稻谷中的裂颖会使米粒容易受到外力的机械损伤和虫害蛀蚀,增加病菌感染机会,使斑点米、裂纹米或有色米增加 (吕文彦等,2003);在大豆中种皮的开裂会严重影响大豆的质量 (Bremner & Krogmeier,1988)。本研究结果显示,由于失去了果皮的保护,开裂类型种子霉烂率显著高于完整型种子,种脐端部半开裂型籽粒的霉烂率最高,是完整籽粒的 9 倍。

果皮开裂导致根系发育失调。由于果皮开裂,胚乳中的挥发性内含物随之丧失,影响到种子活力及后期的发育。在珙桐种子贮藏期间,其外果皮、中果皮的完整型对珙桐种子的活力影响非常大 (范川等,2005)。本研究结果显示,果皮开裂型甜荞幼苗的上胚轴普遍伸长过速,而胚根扎土速率相对放缓,其中纵向完全开裂型最为显著,这对于甜荞的苗期抗旱性、抗倒伏性以及稳健株型的形成均可能导致潜在的不利影响。

果皮开裂在整体上降低了种子萌发率。果皮开裂虽然在前期能有效改善水分的吸收,促进萌发,但开裂种子由于失去了果皮的保护,种子将部分或者全部暴露,随之而来的是内含物氧化、水分丧失、微生物导致的霉变及病虫害侵扰等一系列问题,加速了种子的老化进程,改变了种子的内在物质形态,缩短了种子的贮藏寿命,致使 48 h 之后其

萌发率不再改变,开裂类型种子从而在整体上表现出低水平的萌发率。

参考文献:

- AGRAWAL PK, DADLANI M, 1995. Techniques in seed science and technology [M]. 2nd ed. New Delhi: South Asian Publishers: 123.
- BI XH, DAI XW, LIN B, 1993. Seed science [M]. Beijing: China Agriculture Press: 59-65. [毕辛华,戴心维,林斌,1993.种子学[M].北京:中国农业出版社:59-65.]
- BREMNER JM, KROGMEIER MJ, 1988. Elimination of the adverse effects of urea fertilizer on seed germination, seedling growth, and early plant growth in soil[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 85(13): 4601-4604.
- CHEN QF, 2012. Plant sciences on genus *Fagopyrum* [M]. Beijing: Science Press: 6-7. [陈庆富,2012.荞麦属植物科学[M].北京:科学出版社:6-7.]
- FAN C, LI XW, XIAN JR, et al., 2005. Research on pericarp of *Davidia involucrata* affecting the viability of seeds [J]. J Sichuan Agric Univ, 23(4): 495-497. [范川,李贤伟,鲜俊仁,等,2005.珙桐外中果皮对贮藏种子生活力的影响[J].四川农业大学学报,23(4):495-497.]
- FANG XP, LIU YL, 2009. Study on seed germination characteristic of *Fagus longipetiolata* [J]. Seed, 28(12): 23-25. [方小平,刘映良,2009.水青冈种子萌发研究[J].种子,28(12):23-25.]
- GAUR PM, SRINIVASAN S, SURESH K, et al., 2012. Inheritance of natural seed-coat cracking in chickpea [J]. J Hered, 103(6): 898-902.
- HE M, WANG R, ZHOU Y, 2011. Research progress of *Fagopyrum esculentum* Moench [J]. Mod Agric Sci Technol, (2): 46-47. [何颀,王锐,周云,2011.荞麦研究进展综述[J].现代农业科技,(2):46-47.]
- HILHORST HWM, 1995. A critical update on seed dormancy. I. Primary dormancy [J]. Seed Sci Res, 5(2): 61-73.
- HILLMAN JR, WITCOMBE JR, WHITTINGTON WJ, 1969. Growth inhibitor in the seed coat of charlock [J]. Nature, 222(5199): 1200-1201.
- HOPPER GM, SMITH DW, PARRISH DJ, 1985. Germination and seedling growth of northern red oak: effects of stratification and pericarp removal [J]. For Sci, 31(1): 31-39.
- HU XW, WANG YR, WU YP, 2009. Effects of the pericarp on imbibition, seed germination, and seedling establishment in seeds of *Hedysarum scoparium* Fisch. et Mey [J]. Ecol Res, 24(3): 559-564.
- LI QM, LIU Y, LIU GQ, et al., 2013. Germination inhibitory substances extracted from the seed of seven species of *Quercus* [J]. Acta Ecol Sin, 33(9): 2104-2112. [李庆梅,刘艳,刘广全,等,2013.栎属7种植物种子的发芽抑制

- 物质研究[J].生态学报, 33(7):2104-2112.]
- LIN RF, 1994. Buckwheat in China[M]. Beijing: Agriculture Press: 2-80.[林汝法, 1994. 中国荞麦[M]. 北京: 中国农业出版社: 2-80.]
- LIU HW, LI XL, REN WJ, 2009. Preliminary study on germination physiology of opening glume and hulled rice seed [J]. Seed, 28 (6): 81-85. [刘洪伟, 李小林, 任万军, 2009. 裂颖与去壳对水稻种子萌发生理的初步研究 [J]. 种子, 28 (6):81-85.]
- LIU XB, ZHANG QY, 1990. Observation on seed coat structure in different dormant period ofspring wheat[J]. Seed, (3): 13-14. [刘晓冰, 张秋英, 1990. 休眠期不同的春小麦种子种皮结构形态观察[J]. 种子, (3):13-14.]
- LIU Y, LI QM, LIU GQ, et al., 2012. Inhibitory mechanism of seed germination of *Quercus acutissima* [J]. Sci Silv Sin, 48(9): 164-170. [刘艳, 李庆梅, 刘广全, 等, 2012. 麻栎种子萌发的抑制机制[J]. 林业科学, 48(9): 164-170.]
- LÜ WY, ZOU QM, GUO YH, et al., 2003. Preliminary studies on characteristics of rice glume-opening and its effect [J]. J Jilin Agric Univ, 25(3): 246-249. [吕文彦, 邹清敏, 郭玉华, 等, 2003. 稻谷颖壳开裂特点及其影响的初步研究 [J]. 吉林农业大学学报, 25(3):246-249.]
- MOHAMED-YASSEEN Y, BARRINGER SA, SPLITTSTOESSER WE, et al., 1994. The role of seed coats in seed viability [J]. Bot Rev, 60(4): 426-439.
- RAJJOU L, DUVAL M, GALLARDO K, et al., 2012. Seed germination and vigor [J]. Annu Rev Plant Biol, 63(1): 507-533.
- SHAH FA, NI J, CHEN J, et al., 2018. Proanthocyanidins in seed coat tegmen and endospermic cap inhibit seed germination in *Sapium sebiferum* [J]. Peer J, 6(10): e4690.
- SHANG XL, XU XZ, FANG SZ, 2011. Seed dormancy mechanism of *Cyclocarya paliurus* [J]. Sci Silv Sin, 47(3): 68-74. [尚旭岚, 徐锡增, 方升佐, 2011. 青钱柳种子休眠机制[J]. 林业科学, 47(3):68-74.]
- WEITBRECHT K, MÜLLER K, LEUBNER-METZGER G, et al., 2011. First off the mark: early seed germination [J]. J Exp Bot, 62(10): 3289-3309.
- XU HH, LI N, LIU SJ, et al., 2014. Research progress in seed germination and its control [J]. Acta Agron Sin, 40(7): 1141-1156. [徐恒恒, 黎妮, 刘树君, 等, 2014. 种子萌发及其调控的研究进展[J]. 作物学报, 40(7):1141-1156.]
- XU XG, DING FF, LI X, et al., 2012. Preliminary study on seed dormancy and germination of *Styrax tonkinensis* (Pierre) Craib ex Hartw [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 32(11): 2270-2278. [许晓岗, 丁芳芳, 李翔, 等, 2012. 东京野茉莉种子休眠机制及其破除方法初探 [J]. 西北植物学报, 32(11):2270-2278.]
- YAN CX, DING XQ, SONG SS, et al., 2014. Seed dormancy cause and pregermination method of *Raspberry (Rubus L.)* [J]. Seed, 33(3): 55-58. [闫翠香, 丁新泉, 宋闪闪, 等, 2014. 悬钩子属植物种子休眠及其解除方法探讨 [J]. 种子, 33(3):55-58.]
- YAN QC, 2000. Principles of seed testing and technology [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press: 49-150. [颜启传, 2000. 种子检验原理和技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社: 49-150.]
- YAN W, ZHANG BN, 1995. Analyse and remark upon part composition of the buckwheat [J]. J Sichuan Norm Univ (Nat Sci Ed), 18(4): 93-96. [严伟, 张本能, 1995. 甜荞部分营养成分分析及评价 [J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 18(4):93-96.]
- YAN XF, CAO M, 2009. Effects of seed coat and environmental temperature on the germination of *Hevea brasiliensis* seeds [J]. J Trop Subtrop Bot, 17(6): 584-589. [闫兴富, 曹敏, 2009. 种皮和环境温度对橡胶树种子萌发的影响 [J]. 热带亚热带植物学报, 17(6):584-589.]
- YANG QH, YE WH, SONG SQ, et al., 2003. Summarization on causes of seed dormancy and dormancy polymorphism [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 23(5): 837-843. [杨期和, 叶万辉, 宋松泉, 等, 2003. 植物种子休眠的原因及休眠的多形性[J]. 西北植物学报, 23(5):837-843.]
- YAO YR, LÜ JP, LIU Q, et al., 2018. Effect of phenol on seed germination of *Polygonum orientale* L. [J]. J Shanxi Agric Sci, 46(2): 199-202. [姚艳蓉, 吕俊平, 刘琪, 等, 2018. 苯酚对红蓼种子萌发的影响[J]. 山西农业科学, 46(2):199-202.]

(责任编辑 何永艳)