

# 关于雹胚的研究\*

赵仕雄

(青海省气象研究所)

## 提 要

本文在研究冰雹胚胎上,不仅较有分析地提出定义雹胚的建议以及指出由于切片方法和外观观察方法的局限性可能造成的胚胎判断的错误,而且通过七个大气雹过程所收集的269个雹块和1500张多层连续切片照片,分析了高原雹胚的类型,并研究了粒雹胚的存在。分析表明,高原雹胚主要是霰,并占雹胚的84%(其中粒雹胚占15%);冻滴胚占4%。文章应用冰晶大小和同位素氘的分析方法讨论了霰胚的生长部位,其生长环境温度为 $-13^{\circ}\text{C}$ — $25^{\circ}\text{C}$ ,海拔高度7—9 Km,而粒雹生长较一般的层霰在更高的高度,长粒雹生长在较低的高度。

## 一、引 言

在冰雹研究中,雹块的胚胎是什么?怎样划分?曾有过多种提法,例如:1.认为冰晶、雪花及其聚合体为冰雹胚胎,2.认为是冻结雨滴,3.毛毛雨、冰晶、雪花、冻滴等,即雹胚可在云内任何高度产生,4.冰雹生长中心分为三类:霜、透明冰和不定型,5.认为雹胚是霰(软雹)和冻滴等<sup>[1]</sup>。为什么到目前为止对雹胚的看法没有一个统一的意见呢?其原因主要是:1.究竟什么是冰雹“胚胎”?没有一个明确的定义。他们是在不同的“胚胎”概念下进行雹胚划分工作。一些人可能是把雹块内部显露出来的、可觉察到的“胚胎”与雹胚的生长起源等同起来了。2.由于制备雹切片方法等因素,造成了对雹胚判断的错误等等。本文将分别予以讨论,并对高原观测到的冰雹胚胎进行了分类统计,用冰晶、同位素分析方法确定其霰胚的生长环境。

## 二、关于雹胚的定义、分类意见

冰晶在自然云降水中占据着重要的地位,实际上,在形成雹块过程中常起着原始生长点的作用。Mason<sup>[2]</sup>在论述软雹结构时指出:雪丸或软雹可以起源于冰晶或者小的冻结雨滴,这个胚胎经过冷滴的撞冻而继续增长,结果冻结成多孔的霜状结构。但目前尚缺少有说服力的照片说明冰雹内部生长中心是明显的冰晶、雪晶以及毛毛雨滴。Gokhale<sup>[3]</sup>指出:早期生长中心哪一部分构成胚体常常是难以确定的。因此沿用胚胎学中“胚胎”一词来定义雹块最早生长点——冰晶、毛毛雨滴为胚胎就不够准确。

\* 本文于1984年2月14日收到,1985年2月22日收到修改稿。

事实上,因为一个冰晶一旦变成比小云滴大得多,它与这些小滴并合而大大加速增长,在碰冻增长中,冻结成不规则形状的冰粒;在继续增长中,由于液水的浸蚀、渗入、气泡的破灭等原因,使人们看不清它们的生成过程。

在我们所取得的各类雹切片照片中,雹块起始结构通常显露出一个直径2—13 mm的生长中心——霰和冻滴,其最小冻滴也不小于1 mm(见图1)。霰胚参见图3。Knight(1970,1976)<sup>[4,5]</sup>认为霰胚是霰和冻滴,这是比较恰当的。它不仅在选择“胚胎”一词上较为合理,而且在冰雹形成理论上也是有根据的。

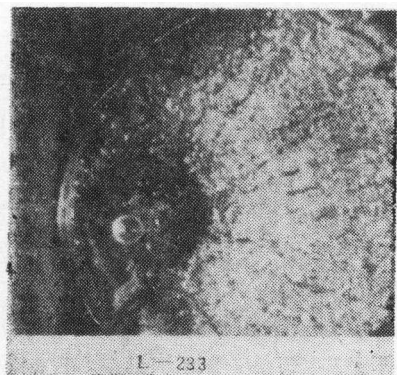


图1 雹块内可发现的最小的冻滴胚  
(直径>1 mm,增长部为锥状霰)

由冰雹形成理论可知:有无冰晶、毛毛雨等小云粒并不是问题症结所在,问题是它们能否形成足够大小的霰和冻雨滴。观测事实是:在云顶温度为 $-8^{\circ}$ — $-12^{\circ}\text{C}$ 的浓积云中总存在霰,但在云顶温度为 $-5^{\circ}$ — $-8^{\circ}\text{C}$ 的浓积云中却只偶而有霰<sup>[6]</sup>。在高原夏季对流云降水中,我们尚观测到直径为2.5—5 mm的典型锥状霰谱,霰平均浓度为 $48.5$ 个/ $\text{m}^3$ <sup>[7]</sup>,这说明较强的对流云,在进入雹暴阶段之前,冰晶、毛毛雨、霰及冻滴等这几种粒子形态已经存在,随着雹暴的发展,霰、冻滴这些大粒子在雹暴阶段最有希望优先长成雹块。所以,从雹暴阶段性发展划分的

意义来说,霰、冻滴可以是形成雹块的“胚胎”。这个观点,支持采用大尺度吸湿性粒子进行催化防雹的意见<sup>[8]</sup>。

因此我们的意见是:既然雹块存在清晰的生长中心,定义这第一生长层为霰胚是恰当的。除了昆虫等异物外,从云物理角度来看,霰胚为霰和冻滴。

在对雹块进行胚胎鉴别、划分时,往往主观性较大。我们对霰胚——第一生长层的划分作了如下规定:1. 霰胚的气泡的大小、密度、分布结构应与第二生长层有较明显的界线,2. 有可确定的外形,3. 有自己的冰晶大小、形状、取向特征,4. 胚的尺度大小在 $1 < d < 15$  mm之间,5. 为便于研究,胚胎生长中心那种待研究的 $< 1$  mm的冰晶、毛毛雨滴当作胚的起源来论述,或称它为“胚核”。显然图1中雹的最内层是一球状透明冰,有单一的冰晶结构,其外层为 $\sim 10$  mm的锥状霰结构,应是冻滴胚。图3中DO 11号雹块最内层具有可区别的气泡、冰晶结构的是一清晰的不透明锥状体,尺度13 mm,应定为锥状霰胚。

### 三、关于切片技术造成的误判

霰胚的判断正确与否,与切片技术有很大关系。如果切片方法不当,部位不通过生长中心,可能会给胚胎判断造成严重错误。Бартишвили(1975)<sup>[11]</sup>曾指出,只有通过冰雹结构中心的切片才能提供令人信服的胚胎情况。但他的报告并没有指出造成谬误的情况怎样?

图2给出一个雹块一组连续切片的照片。如果对于每一个切片,事先并没有判明它们是否通过雹块结构中心,是纵切还是横切、斜切,仅从其中一张切片照片进行霰胚的推

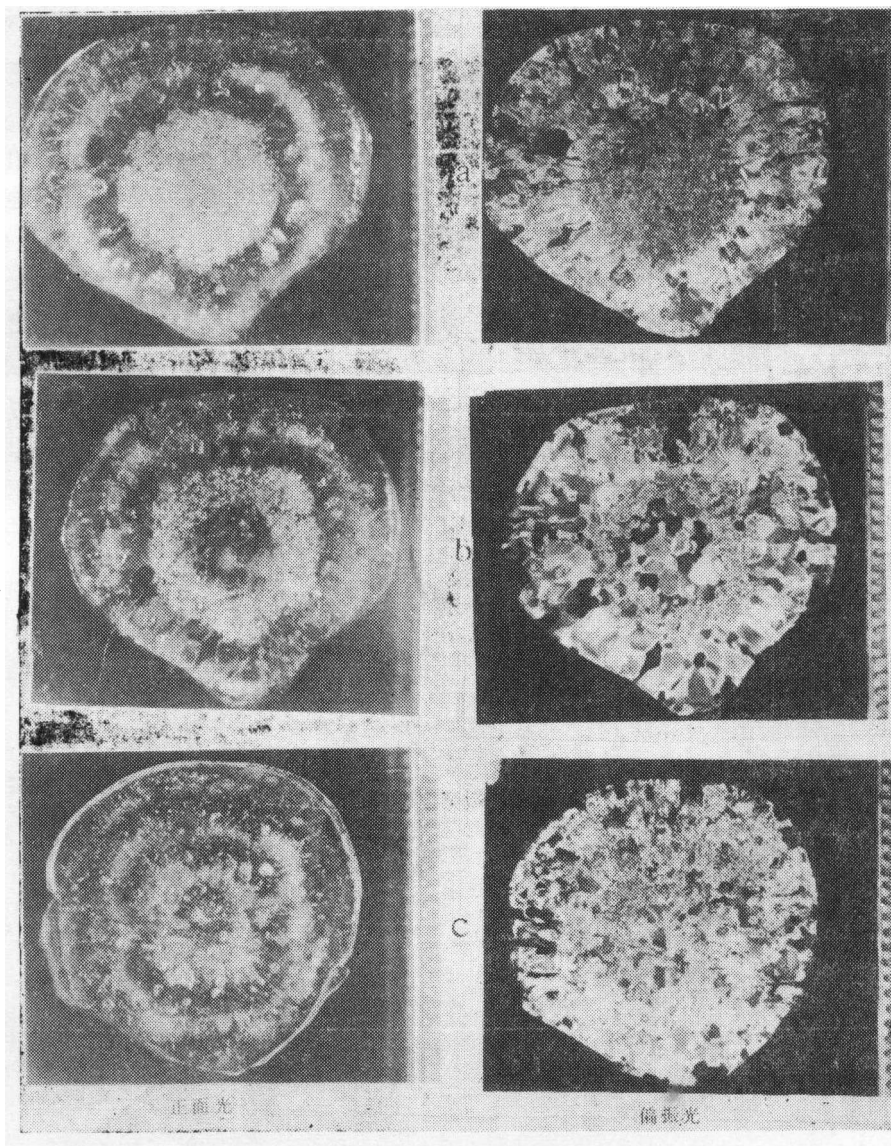


图 2 一个雹块的连续三张切片照片

(切面垂直于雹块长轴, a) 切片中心部通过雹块第三层不透明气泡层, b) 通过雹第二透明冰层, c) 通过雹块结构中心)

断,则可能会对雹胚作出这样错误的判断, a) 照是“球状雹胚”, b) 照是“球状冻滴胚”, c) 照是“不规则小雹粒”等。事实上,这个雹块的胚胎既不是球状雹胚,也不是球状冻滴胚,而是一锥状雹胚。由于切面垂直于长轴,即垂直于锥的高,所以 a)、b) 切片中心部是圆而不呈锥;又由于 a) 切片中心部通过的是雹块第三不透明气泡层,中心部呈现了不透明圆;而 b) 通过了雹块第二层透明层,中心部呈现了透明的圆,并有大冰晶结构。

根据经验,要获得对胚胎的正确判断,需进行细心的切片和分析,在切片技术上需注意: 1. 及时收集雹块,及时冷冻,以保存好胚胎结构, 2. 切面以选取雹块长轴方向为宜,

3. 选取长轴方向无疑对雹块进行许多个切片似不太经济,一个较可行的方法是先将一个雹块自然放置,任意切去一小部分,这时内部结构已经在目,便可找到纵切方向、部位,然后细心在中心部连续切三片,厚约 1 mm,便可得到通过生长中心的切片。

雹块的最外层一般为一透明冰层,透过透明冰层常可直接看见有些雹块内部似乎是若干个“软雹”粘结在一起的结构——实际多是瘤或瓣状结构,于是往往被认为是意外的“发现”,是“多粒”胚。看来,仅通过外观观察而不通过切片,造成胚胎判断的谬误会更为严重。

图 3 给出了三个雹块的有“多粒”胚状的例子,显然它们都只有单一的锥状雹胚,而不是多粒胚。D 011 和 P 278 两个雹块的切片,其中右面的切片照片分别通过了雹块的第二不透明层和第三不透明层,中心部明显地都为多粒状结构,但是对应其左面的切片照片,中心部面目全非;D 011 的胚胎,由于切面与长轴平行且通过结构中心,为一明晰的锥状雹。P 278 的胚胎,由于切面垂直于长轴且大约通过结构中心,因此呈现的是一圆雹(实际应为锥状雹)。比较一下各雹块的左、右切片照片,D 011 左面的第二不透明层是一较粗的瓣结构,P 278 左面的第三层是一较细的瓣层,这两个瓣层的范围显然与后面的“多粒胚”区尺度相当,可见上面的切片是没有通过结构中心的切片,“多粒胚”是一种误判。图中 D 047 号雹块右面的照片则更是迷惑人,外观一看很像几个“软雹”粘结而成,连续几个切片后,其结构中心仍然是一单个锥状雹胚。外围的“软雹”组织,应是增长的瓣。

在看了一些研究者的雹块结构文章后,我们也同样认为,他们所制备的冰雹切片,可能不少是不包含雹块胚胎本质情况的,他们的分析至少是不精确的。由于多没有连续三张以上结构中心的切片,这里不好直接评论。

上面讨论中,提及了“多粒胚”的问题。Knight(1976)在雹胚分类中,除了分出霰、冻滴两个主要类型外,还发现有第三种次要的,但较为特殊的“球状多粒胚”<sup>[5]</sup>。这种胚胎我们也发现存在。从他的照片上分析,可能不一定是球状的,也许切片的切面是垂直于锥状胚的长轴,因而误认为是球状,该胚所指的粒胚与前面讨论的“多粒粘结”胚结构不一样。它是一个单一的霰,内部由许多小粒构成,其氢的同位素氘含量为 $-69.4, -72.5\%$ (SMOW),比一般层霰氘含量 $-57.3, -44.4$ 取更小的值,因而它生长在云中更高的位置,可能是一种核状淤结构。

#### 四、高原雹胚类型及其生长条件

据我们对高原七次大冰雹过程和二次小冰雹过程的 269 个雹块(直径 8—40 mm) 1500 张各类切片照片分析,高原雹胚分霰和冻滴两种,其中霰胚又可分三种结构类型:

1. 层霰胚,或气泡结构为较均匀的霰。形状多呈锥体,很少有球状或椭球状,中间常有多层不明显的透明与不透明相间的细冰层,一般为白色不透明或半透明冰。见图 3 D 011, D 047。

2. 粒霰。霰由许多小气泡聚成的白色粒组成,粒形状不规则,粒间界线清楚,大小在 0.3—1.5 mm 之间,似核状淤冰结构,见图 4。

3. 长粒霰,或多瓣霰。若干“瓣”沿锥向排列,瓣粒的长度与霰胚的尺度相当,一头钝一头尖,宽度在 1—3 mm 之间,瓣粒的延续与外壳瓣一致,胚尖部常模糊不明,该霰胚多

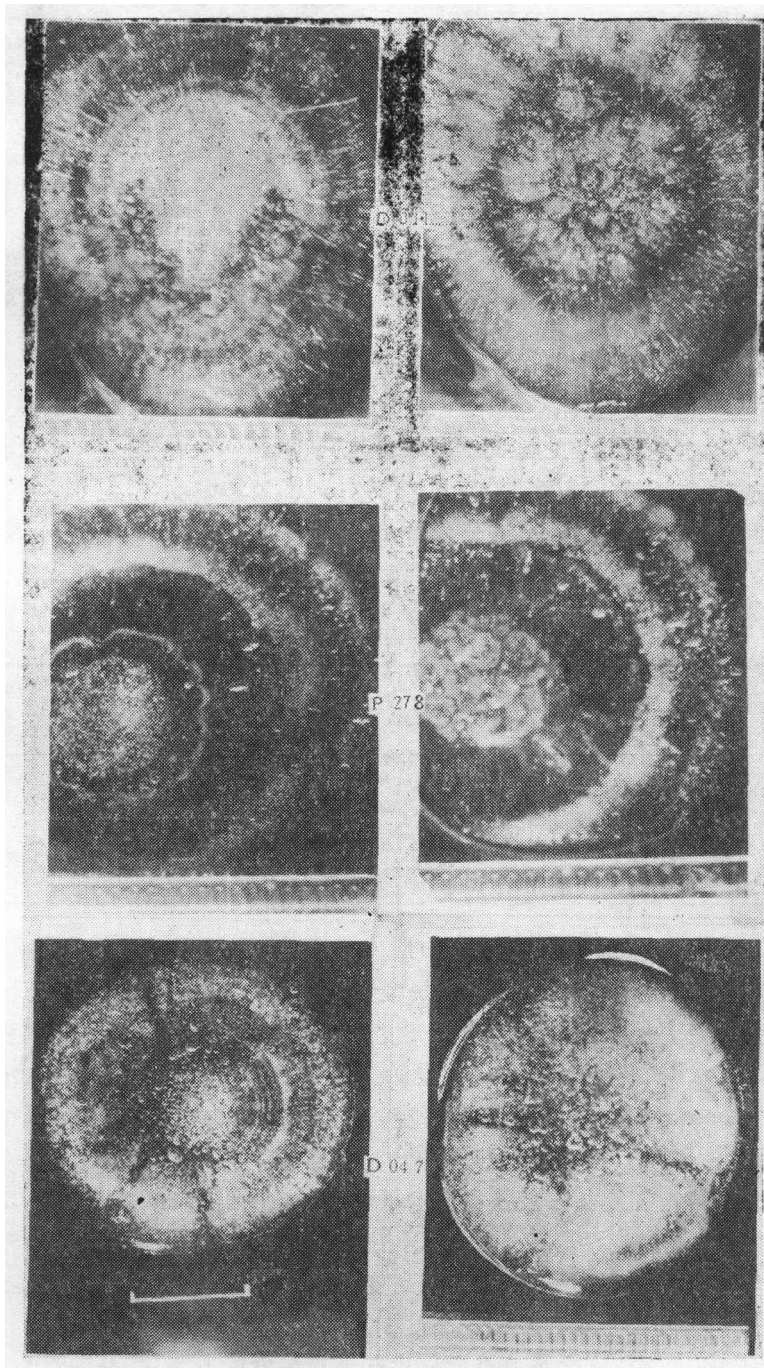


图 3 三个霉块切片通过不同部位呈现的“胚”气泡结构  
(左呈“多粒”,右呈单一霉胚)

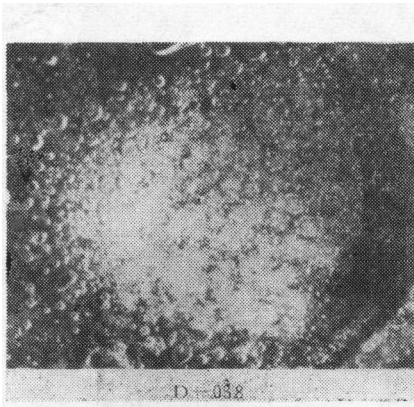


图 4 粒霰胚

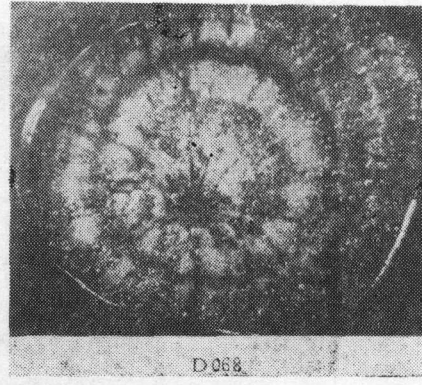


图 5 长粒霰胚

为半透明冰,内部冰晶较长(见图5)。经统计这三种霰胚总占霰胚的84%(与Knight的一致),分别占霰胚的58%,15%,12%(见表1)。

从表中可以看出,高原霰胚主要是霰胚,冻滴胚很少,只占4%。另外,大雹块出现粒霰胚比例增大,出现层霰胚和长粒霰胚比例减小。可能大雹块的胚源向云的上部伸展。

表 1 高原霰胚类型统计

类型 霰径(cm)	霰						冻 滴		其 它	
	层 霰	粒 霰	长 粒 霰	层 霰	粒 霰	长 粒 霰	冻 滴	冻 滴	其 它	其 它
$d \leq 2.5$	104	60%	21	13%	22	13%	7	4%	19	11%
$d > 2.5$	52	54%	19	20%	9	9%	3	3%	13	14%
总 和	156	58%	40	15%	21	12%	10	4%	32	12%

下面我们将从冰晶大小及同位素氘方法来分析霰胚的生长高度及环境温度。

霰一般为干增长,我们采用Ashworth<sup>[9]</sup>提及的方法,应用a型分析,选取了38个层霰胚,测量了胚及外壳层的冰晶平均最大长度L和平均冰晶宽度 $\omega$ 。胚的平均直径为7.4 mm,  $L=1.27$  mm,  $\omega=0.68$  mm; L是较为灵敏的因子,查[9]中表可知,其生长环境温度平均在 $-20.5^{\circ}\text{C}$ 左右,查相应08时探空,其生长高度平均在海拔7.7 km,约距云底5—6 km。而外壳 $L=1.55$  mm,  $\omega=0.88$  mm,生长的平均环境温度在 $-18^{\circ}\text{C}$ 左右,相应高度为7.3 km。粒霰胚及长粒霰胚各选取了5个,冰晶尺度结果是:粒霰 $L=0.87$  mm,  $\omega=0.60$  mm,其生长温度平均在 $-22.3^{\circ}\text{C}$ ,相应高度在8.0 km,长粒霰 $L=2.6$  mm,  $\omega=0.90$  mm,其生长环境温度为 $-15^{\circ}\text{C}$ ,相应高度为6.9 km。分析表明,粒霰胚生长在云中更高的高度,长粒霰胚要生长在较低的高度。

分析雹块内部的同位素含量来推测其生长环境温度的方法,是一种较为精确的方法,这个方法被记录在Jouzel等<sup>[10]</sup>的文章中。1983年我们取得了两次大冰雹过程的五个直径在26—36 mm雹块的各冰层包括霰胚的同位素氘含量的分析资料,并对其生长轨迹进行了推演<sup>[11]</sup>。分析的霰胚(指层霰)最高氘值为 $-36.3\%$ ,最低氘值为 $-71.3\%$ (SMOW);霰胚的平均氘含量为 $-53.9\%$ ,其生长的环境温度在 $-13^{\circ}$ — $-25^{\circ}\text{C}$ ,相应高度在7.0—

9.0 km。这一结果，与前冰晶的分析统计结果基本一致。

## 五、结 语

应当对雹胚继续进行多方面的深入的观测研究，这对弄清雹胚生长部位和机制是十分必要的。

雹胚及其冰结构的再分类，不仅反映了雹胚的重要地位，而且也为进一步研究雹胚的形成机制提供了内容。但是在分类中，必须承认，在许多切片中，胚的尖部由于经常模糊不清，很可能有的冻滴未被发现，有误判之处；在粒雹和长粒雹的分析中，也可能有液水原先的浸蚀而造成这种结构的假像，但就整个统计而言并不重要。

## 参 考 文 献

- [1] Баргшвили, Г. С., Зарадыши и ядра градин, «Труды ВГИ», Вып. 32, 1975.
- [2] Mason, B.J., 云物理学, 科学出版社, 349, 1978.
- [3] Gokhale, N.R., 雹暴和雹块生长, 科学出版社, 52, 1981.
- [4] Knight, C.A., and N.C. Knight, Hailstone embryos, *J. Atm. Sci.*, 27, 4, 1970.
- [5] Knight, C.A., and N.C. Knight, Hail embryo studies, Int. Conf. On Cloud Physics, 222, 1976.
- [6] 雷雨顺、吴宝俊、吴正华, 冰雹概论, 科学出版社, 152, 1978.
- [7] 赵仕雄, 高原东部地区雹谱时空分布特征分析, 高原气象, 4期, 1983.
- [8] 许焕赋、王思微, 关于防雹催化剂, (未发表), 1982.
- [9] Ashworth, E., T. Ashworth and C.A. Knight, Cylindrical ice accretions as simulations of hail growth: III. Analysis techniques and application to trajectory determination, *J. Atm. Sci.* 37, 4, 852, 1980.
- [10] Jouzel, J., L. Merlivat, E. Roth and J. Geoph, Isotopic study of hail, *J. Geoph. Res.*, 80, 1975.
- [11] 赵仕雄, 高原五个雹块的同位素研究, (未发表), 1984.

## A STUDY OF HAIL EMBRYO

Zhao Shixiong

(Meteorological Institute of Qinghai Province)

### Abstract

In this article a definition of hail embryo is proposed, and the possible errors of judgement of the embryo due to the limitation of the method of slice test or of appearance discrimination are discussed. Based on observations of 7 hail-storms on Qinghai plateau in which 269 stones are collected and tested with 1500 photos taken, the author has analyzed different kinds of embryos on the plateau, showing the existence of multi-grain graupel embryo, and proving that hail embryo in the highland is mainly graupel, amounting to 84%, 15% of which is multi-grain graupel; and 4% of hail embryo is frozen-drop. The author has also analyzed the crystal size and isotopic deuterium in discussing the condition of the development of the graupel embryo at a temperature of  $-13^{\circ}\text{C}$  to  $-25^{\circ}\text{C}$  within the altitude of 7000 to 9000 meters above sea level. It is found that at a higher level multi-grain graupel develops quicker than the normal graupel.