

啮齿动物对山杏种子命运影响的季节格局

马庆亮^{1,2}, 赵雪峰^{1,2}, 刘金栋³, 路纪琪^{1,2}

(1. 郑州大学 生物工程系 河南 郑州 450001; 2. 郑州大学 生物多样性与生态学研究 河南 郑州 450001; 3. 国有济源市愚公林场 河南 济源 454650)

摘要: 在河南济源王屋山地区(E 112°16', N 35°12')选择灌丛生境, 分别于春季、夏季、秋季释放 600 枚人工标记的山杏(*Prunus armeniaca*)种子, 旨在了解小型啮齿动物对种子命运影响的季节性变化特征. 种子释放之后, 每 3 d 检查一次种子的命运, 记录种子被啮齿动物扩散、贮藏、取食情况和相关的生境信息. 通过比较山杏种子释放处被啮齿动物就地取食、存留动态、种子被搬运和贮藏的距离、位置、状态等的季节差异, 确定啮齿动物对山杏种子的存活和对山杏更新的影响. 采用 SPSS 软件包对数据进行统计分析, 结果表明: 取食山杏种子的鼠类主要是大林姬鼠(*Apodemus peninsulae*)、社鼠(*Niviventer confucianus*)和黑线姬鼠(*A. agrarius*); 山杏种子在释放点的消失速率在秋季最快, 夏季次之, 春季最慢; 山杏种子原地存留率在春季最高, 夏季和秋季几乎全部被啮齿动物搬离释放点, 扩散后被贮藏种子比例由高到低依次为秋季(31%)>夏季(20%)>春季(0.83%); 山杏种子被鼠类搬运的平均距离秋季最大, 不同季节间种子扩散距离的差异达显著性水平.

关键词: 山杏(*Prunus armeniaca*); 啮齿动物; 灌丛; 搬运; 季节

中图分类号: Q 958.1

文献标识码: A

文章编号: 1671-6841(2010)03-0102-06

0 引言

种子是许多植物实现更新的主要源泉, 同时也是许多植食性动物如鸟类、啮齿动物、蚁类的重要食物资源^[1]. 啮齿动物通过取食或集中贮藏, 消耗大量种子从而不利于植物的自然更新; 另一方面, 动物通过其分散贮食行为改变了种子的分布格局, 从而成为种子的有效扩散者^[1-2]. 分散贮食的动物常将种子浅埋于适宜种子萌发的位点(如土壤中), 最终促进植物的自然更新. 在自然条件下, 动物的食物贮藏行为受许多内在和外在因素的影响^[3-10]. 已有研究表明, 在温带地区, 啮齿动物的食物贮藏活动强度在一年中的不同季节间有明显差异^[1, 5]. 太行山区河南段地处中国自然地理的南北过渡地带, 由于长期受人类经济活动的影响, 当地森林生态系统受到了较为严重的干扰和破坏. 探讨啮齿动物与林木种子的相互作用, 对于促进退化森林地区的植被恢复与重建具有一定的理论价值和实践指导意义.

山杏(*Prunus armeniaca*)是多见于森林较为退化的山地环境中的一种灌木状小乔木, 既可形成山杏矮林或灌丛, 也可以亚优势种或伴生种混生于干旱阳坡的其他类型的灌丛中. 山杏是群落演替过程中的先锋植物, 能够较快地侵入并定居于植被严重退化的山坡、裸地, 对土壤贫瘠和干旱条件有一定的耐受性, 因而对于生态环境保护、减少水土流失具有重要作用^[11]. 山杏种子种皮较厚, 只有咬啮能力较强的啮齿动物才能打开, 而啮齿动物的取食、搬运活动必然会影响到山杏种子的命运及种子库动态, 并最终影响到山杏树的更新^[6, 9]. 本研究旨在: ①验证温带地区啮齿动物在秋季贮食活动较为强烈的论点; ②分析在夏季成熟至次年 5 月山杏幼苗更新这一阶段, 啮齿动物对山杏更新的作用, 探讨森林退化地区植被恢复的有效途径.

1 材料和方法

1.1 研究地区状况

收稿日期: 2009-11-12

基金项目: 国家重点基础研究计划资助项目, 编号 2007CB109106.

作者简介: 马庆亮(1982-), 男, 硕士研究生, 主要从事动植物协同进化研究, E-mail: roadpub@163.com; 通讯联系人: 路纪琪(1964-), 男, 教授, 博士, 主要从事动物生态学研究, E-mail: lujiq@zzu.edu.cn.

本研究在河南省国有济源市愚公林场(E 112°16', N 35°12')进行,此地位于济源市西北约 40 km 处,地处太行山南麓的王屋山地区,地势北高南低,最高海拔 1 711.3 m(天坛山)。区内属大陆性季风气候,年平均气温 14.3 °C,1 月份平均气温 -0.1 °C,极端最低温 -20 °C,7 月份平均气温 27.3 °C,极端最高温 43.4 °C,年平均降水量为 600~700 mm,但降水量的时空分布不均。该地区的植物群落以次生林、灌丛为主,由于人为活动的干扰,生态系统正处于恢复阶段。森林植物种类有栓皮栎(*Quercus variabilis*)、槲栎(*Q. aliena*)、漆树(*Toxicodendron vernicifluum*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、华北五角枫(*Acer truncatum*)等,灌丛植物以黄栌(*Cotinus coggygria*)、荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)等为优势种类,同时分布有胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、连翘(*Forsythia suspense*)、蒙古绣线菊(*Spiraea salicifolia*)、酸枣(*Ziziphus jujuba* var. *spinosa*)等^[10,12]。

1.2 样点设置与种子释放

于山杏成熟季节收集山杏种子,晾干备用。在灌丛生境中沿山坡选取一条长约 150 m、宽约 50 m 的样带,在该样带上设置 15 个样点,样点间距约 10 m,在每一样点均匀放置 40 枚标记的山杏种子。参照文[11]的方法对山杏种子进行标记,改进之处是用塑料标志牌代替金属牌^[10]。

于 2008 年 4 月 17 日、7 月 20 日、10 月 1 日分别释放 600 枚标记的山杏种子,夏季和秋季释放种子时,清除上一季节释放点处原地存留的种子。从种子被释放的第 2 d 起,检查样点处释放种子的存留动态(存留、取食、搬运等),每 3 d 检查一次(上午进行)。参照路纪琪等^[9]的方法,对被啮齿动物处理后的山杏种子状态进行定义。在检查时,一旦发现被搬离释放处的种子,详细记录塑料牌的编号、方位、扩散距离、种子的状态、种子被埋藏的深度、贮藏点大小以及被搬运位点处 1 m² 的微生境。研究期间共释放山杏种子 1 800 枚,每个季节的调查时间均持续 60 d。

1.3 啮齿动物的种类和相对密度调查

研究期间,为了解当地啮齿动物种类,并尽可能减少对研究样地中啮齿动物组成和数量的影响,选择与研究样地类似的生境,采用标准钢板鼠夹,以花生为饵,分别于 2008 年 4 月 15 日、7 月 15 日、10 月 15 日进行啮齿动物种类和种群相对密度的调查(直线夹日法)。于每天傍晚布夹 25 个,夹间距 5 m,翌日清晨检查鼠夹,调查持续 2 d。对捕获到的啮齿动物进行常规测量和记录。

1.4 取食山杏种子的啮齿动物种类确定

采用活捕、单独笼养并饲以山杏种子的方法,收集被鼠类取食后的种皮残骸,与野外收集的种皮残骸进行比较,根据咬痕特征进行鼠种鉴定^[5,13]。大林姬鼠(*Apodemus peninsulae*)咬啮山杏种子的开口较小,咬面平滑;社鼠(*Niviventer confucianus*)的咬口较大,咬面不平整,刮磨痕迹明显;而黑线姬鼠(*A. agrarius*)的咬口虽然也较小,但咬面比大林姬鼠的粗糙,且刮痕多集中于种子的两侧。

1.5 数据分析

采用 SPSS for Windows(13.0)对数据进行统计分析。用存活分析中的生命表比较山杏种子在 3 个季节间存留时间的差异。用 one-sample Kolmogorov-Smirnov 过程检验数据的分布类型。如果数据呈正态分布,则用 one-way ANOVA 过程检验。否则,用非参数检验中的 Kruskal-Wallis test 比较 3 个季节山杏种子扩散距离间的差异,用 Mann-Whitney U 检验 2 个季节之间山杏种子扩散距离的差异性。用 Z 检验比较山杏种子在不同季节的原地存留、原地取食及扩散后取食、贮藏的差异。

2 结果

2.1 作用于山杏种子的主要啮齿动物种类

通过观察野外释放种子被不同啮齿动物咬啮所留下的残骸、咬痕,并与活捕到的鼠类喂饲以山杏种子的咬痕比较,结合春、夏、秋 3 个季节的夹捕调查结果(表 1),可以初步确定取食山杏种子的鼠类主要有大林姬鼠、社鼠和黑线姬鼠。

2.2 山杏种子在释放处的存留动态

从春季至秋季,山杏种子在释放处的存留动态如图 1 所示。用存活分析中的生命表分析山杏种子在不同季节的存活情况,结果表明:中位存留时间在春季为 81.00 d,夏季为 12.38 d,秋季为 7.76 d,3 者间有显著

性差异(over comparison, $W=1\ 388.356$, $df=2$, $P<0.001$). 山杏种子在释放点处的命运包括原地取食和原地存留, 3个季节所释放的山杏种子原地存留的平均数量有显著性差异(Kruskal-Wallis test, $\chi^2=35.571$, $df=2$, $P<0.001$), 春季存留数量显著高于夏季(Mann-Whitney test, $Z=-4.732$, $df=1$, $P<0.001$)和秋季(Mann-Whitney test, $Z=-4.549$, $df=1$, $P<0.001$), 而在夏季和秋季间无差异(Mann-Whitney test, $Z=-1.000$, $df=1$, $P=0.775$). 释放种子被原地取食的平均数量在3个季节间有显著差异(Kruskal-Wallis test, $\chi^2=6.770$, $df=2$, $P=0.034$).

表1 研究地区啮齿动物调查结果

Tab.1 Rodent species and their relative densities in study area

种类	春季	夏季	秋季
	捕获数(捕获率/%)	捕获数(捕获率/%)	捕获数(捕获率/%)
大林姬鼠(<i>Apodemus peinusulae</i>)	2 (4)	2 (4)	2 (4)
社鼠(<i>Nivivator confucianus</i>)	0 (0)	1 (2)	1 (2)
黑线姬鼠(<i>A. agrarius</i>)	0 (0)	0 (0)	1 (2)
合计	2 (4)	3(6)	4 (8)

2.3 山杏种子被啮齿动物搬运后的命运

山杏种子被啮齿动物搬离释放点后, 种子的命运可分为扩散后取食、贮藏和丢失等(图2). 释放山杏种子扩散后被取食的平均数量3个季节间有显著性差异(Kruskal-Wallis test, $\chi^2=8.386$, $df=2$, $P=0.015$), 夏季释放种子扩散后取食平均数量最大, 而春季和秋季较小. 夏季>春季(Mann-Whitney test, $Z=-2.225$, $df=1$, $P=0.026$), 夏季与秋季间无显著差异(Mann-Whitney test, $Z=-0.460$, $df=1$, $P=0.645$).

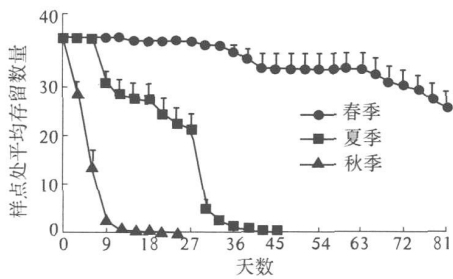
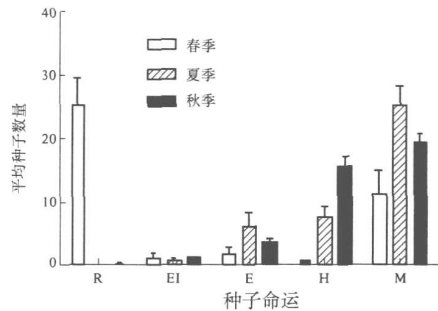


图1 不同季节山杏种子在释放点的存留动态

Fig.1 Survival dynamics of released seeds of *Prunus armeniaca* among different seasons

R: 原地存留; EI: 原地取食; E: 扩散后取食; H: 扩散后贮藏; M: 丢失

图2 啮齿动物处理后山杏种子的命运

Fig.2 Fate of released seeds of *Prunus armeniaca* treated by rodents among different seasons

扩散后被贮藏种子的平均数量在季节间有显著差异(Kruskal-Wallis test, $\chi^2=33.225$, $df=2$, $P<0.001$), 秋季最高, 春季最低. 被贮藏的山杏种子数量在秋季显著大于夏季(Mann-Whitney test, $Z=-3.075$, $df=1$, $P=0.002$)和春季(Mann-Whitney test, $Z=-4.869$, $df=1$, $P<0.001$). 在夏季大于春季, 其差异显著(Mann-Whitney test, $Z=-4.612$, $df=1$, $P<0.001$).

2.4 扩散距离

研究结果表明, 除在春季有部分种子存留于释放处外, 夏季和秋季所释放的种子绝大部分被取食或分散贮藏至不同的位点. 春、夏、秋季释放的种子被啮齿动物扩散的距离分别为(5.54 ± 3.79) m、(5.09 ± 4.67) m、(10.72 ± 12.19) m, 三者间有显著差异(Kruskal-Wallis test, $\chi^2=50.867$, $df=2$, $P<0.001$); 秋季扩散距离大于夏季(Mann-Whitney test, $Z=-7.342$, $df=1$, $P<0.001$), 亦大于春季(Mann-Whitney test, $Z=-2.683$, $df=1$, $P=0.007$), 而春季和夏季释放种子的扩散距离无显著性差异(Mann-Whitney test, $Z=-0.826$, $df=1$, $P=0.409$), 其频度分布见图3. 春季和秋季分别有100%和99.53%的种子扩散距离小于21 m, 而在秋季仅有90.23%的种子扩散距离在21 m之内, 最远扩散距离达78.6 m.

被啮齿动物处理后不同状态的山杏种子的扩散距离统计结果见表 2。在夏季, 被取食、贮藏种子的扩散距离间无差异, 在春季和秋季, 被取食、贮藏种子的扩散距离间均有显著性差异。在春季, 被取食的种子扩散距离大于被贮藏种子, 而在秋季被取食种子的扩散距离则小于被贮藏种子, 其差异达到显著性水平。

2.5 贮藏点大小

研究结果表明, 绝大多数种子贮藏点仅含 1 枚山杏种子, 部分贮藏点含有 2 枚种子, 仅有少量贮藏点含有 3 枚及 3 枚以上的种子(表 3)。被啮齿动物埋藏的山杏种子的深度均小于 5 cm。

表 2 不同状态山杏种子搬运距离统计

Tab.2 Transport distances of seeds with different status removed by rodents

季节	取食		贮藏		$P_{状态}$
	平均值±标准差	平均值±标准差	平均值±标准差	平均值±标准差	
春季	6.50±3.57	1.52±0.93			0.005
夏季	4.18±2.41	5.78±5.74			0.226
秋季	8.29±11.17	11.78±12.49			<0.001
$P_{季节}$	0.017	<0.001			

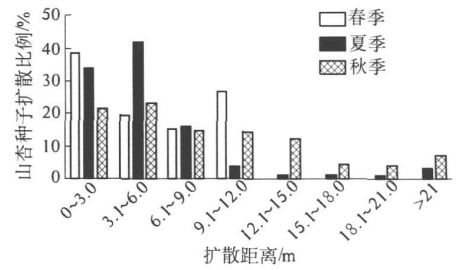


图 3 不同季节释放山杏种子扩散距离的频度分布

Fig.3 Proportional distribution of dispersal distance of seeds of *Prunus armeniaca* among different seasons

表 3 啮齿动物对山杏种子贮藏点大小的季节变化

Tab.3 Cache size of seeds of *Prunus armeniaca* made by rodents among different seasons

季节	贮藏点大小			
	1 枚种子	2 枚种子	3 枚种子	>3 枚种子
春季	0	0	0	0
夏季	40	17	8	0
秋季	83	14	4	0

3 讨论

3.1 取食山杏种子的主要啮齿动物

在与研究样地类似的生境中用直线铗日法、活捕法对研究地区的啮齿动物进行调查, 结果表明, 当地主要啮齿动物种类为大林姬鼠、社鼠和黑线姬鼠。通过室内观察鼠类对山杏的咬啮痕迹、残骸与野外释放种子的咬痕和残骸的比较, 可以确定以上 3 种鼠类均为取食、搬运、扩散、贮藏山杏种子的啮齿动物^[5,10]。研究发现在野外山杏种子被咬碎, 而且作者在样地中曾观察到岩松鼠的取食活动。因此认为岩松鼠 (*Sciurotamias davidianus*) 也取食山杏种子^[5,13]。但是, 岩松鼠个体较大, 用普通鼠铗不易捕获。

3.2 山杏种子在释放处的存留动态

山杏种子在释放点处的中位存留时间在春季最长, 夏季次之, 秋季最短。原地存留的平均数量在春季远大于夏季和秋季, 而夏季和秋季基本全部被搬离释放点, 其原因可能在于: ①从春季至秋季, 随着啮齿动物的繁殖, 种群数量增多, 对食物的需求量不断增大, 同时种内和种间的竞争加剧, 因而夏、秋两季在种子释放后, 被啮齿动物快速搬离释放点。②在秋季, 啮齿动物为将要来临的食物短缺的冬季储备食物, 因而秋季释放种子扩散后被贮藏平均数量最高。释放的山杏种子被啮齿动物原地取食数量都很低, 季节之间无显著性差异, 可能是因为山杏种子的种皮较厚^[5-6], 动物需要耗费较多的时间才能打开种皮, 取食种仁, 因而将面临更高的捕食风险^[14-15]。

3.3 山杏种子被啮齿动物搬运后的命运

研究结果表明, 春季所释放的种子被取食的比例大于贮藏比例, 但无显著性差异 ($P > 0.05$); 而夏季和秋季被贮藏的比例均高于被取食的比例, 夏季释放种子被贮藏、被取食的比例无显著性差异 ($P > 0.05$), 秋季释放种子被贮藏、被取食比例之间有显著性差异 ($P < 0.05$)。以往研究认为, 动物在春季不表现明显的食物贮藏活动^[1]。本研究发现, 即使在春季, 啮齿动物依然表现出对食物的分散贮藏行为, 而在夏季和秋季(秋季贮藏种子的比例最高), 山杏种子更多地被贮藏。这一结果说明, 季节对释放的山杏种子命运有不同的影响, 因而最终将影响山杏种子的存活和种子萌发。山杏种子较小且有坚硬的外壳, 小种子逃脱捕食而存留的

机会比大种子高^[6,16];同时,埋藏能够减少啮齿动物对植物种子的捕食^[3,5,8-9,11,17-19],增加了种子与潮湿环境接触的机会,使种子在较长时间内保持活力.因此,种子一旦逃脱啮齿动物的捕食,在适宜的温度、水分条件下,将有可能萌发以至长成幼苗,促进山杏树木的自然更新.

3.4 啮齿动物对山杏种子的扩散距离

鼠类对山杏种子的扩散距离大多小于21 m,这一结果与以前研究类似^[5,11,13].秋季释放种子的扩散距离远大于春季和夏季,其间差异达到显著性水平,这可能是啮齿动物为避免和减少贮藏食物被盗窃而采取的适应性对策,对此尚待进一步验证.

参考文献:

- [1] Vander Wall S B. Food Hoarding in Animals[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1990: 1-445.
- [2] Willson M F, Traveset A. The ecology of seed dispersal[C]//Fenner M. Seeds: the Ecology of Regeneration in Plant Communities. London, CABI, 2000: 85-110.
- [3] Vander Wall S B. A model of caching depth: Implication for scatter hoarders and plant dispersal[J]. American Naturalist, 1993, 141(2): 217-232.
- [4] Vander Wall S B. The effects of seed value on the caching behavior of yellow pine chipmunks[J]. Oikos, 1995, 74(3): 533-537.
- [5] Lu J Q, Zhang Z B. Effects of habitat and season on hoarding and dispersal of seeds of wild apricot (*Prunus armeniaca*) by small rodents[J]. Acta Oecologica, 2004, 26(3): 247-254.
- [6] Zhang H M, Zhang Z B. Endocarp thickness affects seed removal speed by small rodents in a warm-temperate broad-leaved deciduous forest, China[J]. Acta Oecologica, 2008, 34(3): 285-293.
- [7] Zhang H M, Chen Y, Zhang Z B. Differences of dispersal fitness of large and small acorns of Liaodong oak (*Quercus liaotungensis*) before and after seed caching by small rodents in a warm temperate forest, China[J]. Forest Ecology and Management, 2008, 255: 1243-1250.
- [8] 肖治术,张知彬. 种子类别和埋藏深度对雌性小泡巨鼠发现种子的影响[J]. 兽类学报, 2004, 24(4): 311-314.
- [9] 路纪琪,张知彬. 灌丛高度对啮齿动物贮藏和扩散辽东栎坚果的影响[J]. 动物学报, 2005, 51(2): 195-204.
- [10] 赵雪峰,路纪琪,乔王铁,等. 生境类型对啮齿动物扩散和贮藏栓皮栎坚果的影响[J]. 兽类学报, 2009, 29(2): 160-166.
- [11] Zhang Z B, Wang F S. Effect of rodents on seed dispersal and survival of wild apricot (*Prunus armeniaca*) [J]. Acta Oecologica Sinica, 2001, 21(5): 839-845.
- [12] 宋朝枢,瞿文元. 太行山猕猴自然保护区科学考察集[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996: 1-303.
- [13] 路纪琪,张知彬. 鼠类对山杏和辽东栎种子的贮藏[J]. 兽类学报, 2004, 24(2): 132-138.
- [14] Lima S L. Stress and decision making under the risk of predation: recent developments from behavioral, reproductive, and ecological perspectives[J]. Advances in the Study of Behaviour, 1998, 27: 215-290.
- [15] 路纪琪,张知彬. 捕食风险及其对动物觅食行为的影响[J]. 生态学杂志, 2004, 23(2): 66-72.
- [16] Xiao Z S, Wang Y S, Harris M, et al. Spatial and temporal variation of seed predation and removal of sympatric large seeded species in relation to innate seed traits in a subtropical forest, Southwest China[J]. Forest Ecology and Management, 2006, 222(1-3): 46-54.
- [17] Hulme P E. Post-dispersal seed predation in grassland: its magnitude and sources of variation [J]. Journal of Ecology, 1994, 82: 645-652.
- [18] Hulme P E, Borelli T. Variability in post-dispersal seed predation in deciduous woodland: relative importance of location, seed species, burial and density[J]. Plant Ecology, 1999, 145: 149-156.
- [19] Maron J L, Simms E L. Effect of seed predation on seed bank size and seedling recruitment of bush lupine (*Lupinus arboreus*)[J]. Oecologia, 1997, 111(1): 76-83.

Seasonal Patterns of Seed Fate of Wild Apricot (*Prunus armeniaca*) Affected by Rodents

MA Qing-liang^{1,2}, ZHAO Xue-feng^{1,2}, LIU Jin-dong³, LU Ji-qi^{1,2}

(1. Department of Bioengineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. Institute of Biodiversity and Ecology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

3. State-owned Yugong Forest Farm, Jiyuan 454650, China)

Abstract: To investigate the effects of seasons on seed fate of wild apricot (*Prunus armeniaca*) by small rodents. A total of 1 800 plastic-tagged seeds are released, among three seasons, in shrub habitat in Mt. Wangwu area (E 112°16', N 35°12') in Jiyuan, Henan, China. Seeds are checked with a three-days interval for about two months in each season, and the seed fate is recorded. SPSS for Windows (13.0) is employed in data statistic analysis. The results show that: *Apodemus peninsulae*, *Niviventer confucianus*, and *A. agrarius* are main rodent species that predate seed of wild apricot. The seeds released in autumn disappear more quickly than that in summer and spring, and the median survival time of seeds has significant difference among three seasons; seed-removal rate in spring is lower than that in summer and autumn; while seed hoarding rate in autumn and summer is higher than that in spring. The dispersal distances in autumn is significantly longer than that in spring and summer. The results from this research indicate that seasons influence seed survival and subsequent seedling establishment.

Key words: wild apricot (*Prunus armeniaca*); rodent; shrub; removal; season

(上接第 92 页)

Determination of the Organic Solvent Residue in Betahistine Hydrochloride by Headspace GC

SHI Jie¹, WU Jia-kai¹, WEN Jing-wei², TAO Peng-li¹, WANG Li-jie¹

(1. Department of Chemistry, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. Henan Institute for Drug Control, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: A headspace GC method is used to determine the residual organic solvent of the isopropyle alcohol and trichloromethane in betahistine hydrochloride. Linear correlation is obtained over the range of 20~400 mg · L⁻¹ for isopropyle alcohol, with the regression equation is $A = 115.127.9C - 116.867$, $r = 0.9985$; and over the range of 1.1~88 mg · L⁻¹, the regression equation is $A = 259.942C - 290.048$, $r = 0.9979$ for trichloromethane. The method is easily operative and the result is accurate for determination of solvent residue in betahistine hydrochloride.

Key words: headspace GC; organic solvent residue; betahistine hydrochloride