动物学定量与定性资料分析中的常见错误

胡宝文^{①②}

(^① 中国科学院新疆生态与地理研究所 乌鲁木齐 830011; ^② 中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要:合理选择正确的统计方法是提高科研工作质量和可信度的关键。然而有些科研工作所采用的统计方法往往不合理,甚至是错误的。例如,常常忽视定量资料中 t -检验和方差分析的前提条件——正态性、方差齐性。对单因素多水平的定量资料直接使用组间两两比较的 t -检验;对定性资料中列联表的分析一律通用 Pearson χ^2 检验,包括对 Pearson χ^2 检验结果的理解出现偏差,从而做出错误的推论。本文对国内一些动物学研究论文中所采用的具体统计方法提出辨析。

关键词: t -检验;方差分析;卡方检验;列联表;定量资料;定性资料

中图分类号: Q332 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2009)06-41-07

Common Errors in Qualitative and Quantitative Data Analysis in Zoological Research

HU Bao-Wen^{①②}

(^① *Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011;*

^② *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Choosing right statistical method is a key point to improve quality and credibility of scientific research. However, some methods used by biologists are often unreasonable or even incorrect. For instance, the normality and homogeneity of variance are often neglected in the t -test or Single-Factor Analysis of Variance. Two sample t tests are often employed to address the difference between multiple levels in one factor. The Pearson's χ^2 has been frequently adopted in the contingency table, but inappropriate analyses and inferences are very common. Five examples from the wildlife literatures are used to illustrate the above questions.

Key words: t -test; Analysis of variance; Chi-square (χ^2); Contingency table; Qualitative data; Quantitative data

笔者近期在阅读有关动物学方面的论文过程中,发现一些研究工作所使用的统计方法不恰当,甚至是错误的。现将其罗列出来,提出辨析。希望能够与广大科研工作者探讨。

统计资料类型的现代划分方法是将资料粗分为定量资料和定性资料,定量资料又可细分为计量资料和计数资料,定性资料又可分为名义资料和有序资料^[1]。计量资料一般指从每个考察对象身上获得该指标的具体数值,该数值可带度量单位和小数,如身高、肌肉氨基酸含量。计数资料是指从每个考察对象身上获得指标的具体数值,数值可以带度量单位并且为整

数,如每个样方内的植株数量或昆虫的数量,正常人每分钟的心跳次数。名义资料指从每个考察对象身上观察到的结果不是数值,而是一种状态和名称,如生境类型的划分、血型的划分。有序资料一般指考察对象的指标状态在本质上有序数量大小或先后顺序之分,如动物个体大小

基金项目 国家科技支撑项目“中国重要生物物种资源监测和保育关键技术与应用示范资助”(No. 2008BAC39B04);

第一作者介绍 胡宝文,男,硕士研究生;研究方向:动物生态学;E-mail: hu_bao_wen@yahoo.com.cn.

收稿日期:2009-03-29, 修回日期:2009-08-03

的等级划分、体重大小的等级划分。

1 问题

1.1 定量资料中成组设计 *t*-检验和方差分析

观察结果为定量资料时,常常要比较不同影响条件下的平均值差别是否有统计学意义,在参数统计中,常用的统计方法为 *t*-检验和方差分析。关键在两点:一,检查定量资料是否满足进行该种参数检验的前提条件。例如,要进行成组设计定量资料的 *t*-检验,或单因素多水平定量资料的方差分析,各组定量资料中的数据取值之间要互相独立^[2,3];各组定量资料的数据服从或近似服从正态分布;同一因素各水平组合条件下定量资料的数据所对应的总体方差相等或近似相等^[4-6];二,正确辨析定量资料所对应的实验设计类型。例如使用单因素两水平设计定量资料的检验方法(*t*-检验)去直接分析单因素多水平设计定量资料,这会增加犯第一类错误(type I error)的概率,即往往会将某些本无统计学意义差异的组间误判为有统计学意义的差异,从而导致结论的可靠性大大降低^[4-6]。

1.2 定性资料中二维列联表分析

定性资料的数据分析同样要求正确判断统计方法的前提条件和实验类型。一,在分析定性数据时,经常会犯的错误是一律通用 Pearson χ^2 检验。该检验一般用于检验二维列联表中两个定性变量之间是否独立,常被称为两个特征的独立性检验(test of independence)或关联性检验(test of association);有时也用于检验实际原始数据分布

与假设的理论分布之间的吻合程度,此时称之为拟合优度检验(goodness of fit test for distribution)或适合性检验(compatibility test)。但要注意使用的前提条件,Cochran 和 Snedecor 等研究了二维列联表中使用 Pearson χ^2 检验的前提条件^[7,8]。即(1)理论频数小于 5 的格子数不超过格子总数的 1/5。(2)没有一个格子的期望值小于 1。(3)总样本量不得小于 20,总样本量在 20 ~ 40 之间时要求没有小于 5 的理论频数。另外还要注意,如果是 2 × 2 的列联表,要使用 Yate 修正或采用费歇尔精确检验(Fisher's exact test),其他种类的列联表一般不需要使用 Yate 修正,因为经验发现这个修正不会增加对卡方分布的近似性^[9]。二,列联表资料通常可分为 2 × 2 表、R × C 表、2 × C 表与 R × 2 表和高维列联表四大类(R 代表列联表的行数,C 代表列联表的列数。^[1])。各类资料又可细分为许多详细的情形,并不是每一类定性资料都可以使用 Pearson χ^2 检验,有的可以直接使用,有的则要根据实验目的不同而选择其他的统计方法。

2 案例与辨析

2.1 定量资料

2.1.1 在一项分析青海湖裸鲤(*Gymnocypris przewalskii*)肌肉营养成分的研究工作中^[10],测定了 6 个不同地区青海湖裸鲤肌肉的主要营养成分。为比较不同地区青海湖裸鲤的肌肉营养指标,采用的统计学方法为 *t*-检验。部分具体数据见表 1。

表 1 不同地区青海湖裸鲤主要营养成分(*n* = 10, Mean ± SD, % 鲜样)

Table 1 Nutritional components of *Gymnocypris przewalskii* in different river (% Fresh)

地区	水分	粗蛋白	粗脂肪	灰分
淡水	76.51 ± 1.35	18.87 ± 0.71	3.37 ± 0.79	1.42 ± 0.11
沙柳河	78.74 ± 0.56	17.88 ± 0.54	2.26 ± 0.35	1.47 ± 0.10
哈尔盖	78.80 ± 0.87	18.32 ± 0.38	1.59 ± 0.01	1.44 ± 0.06
黑马河	79.66 ± 0.31	17.26 ± 0.11	1.51 ± 0.53	1.52 ± 0.03
布哈河	78.37 ± 0.33	18.22 ± 0.27	1.85 ± 0.07	1.61 ± 0.13
泉吉河	80.00 ± 1.10	17.55 ± 0.54	1.30 ± 0.17	1.42 ± 0.09
变异系数	1.55	3.28	35.22	5.09

辨析: 根据表 1, 这些数据属于一个单因素 6 水平设计的定量资料。此类资料采用 t -检验的方法进行组间的两两比较是不恰当的^[4]。对于单因素多水平设计的定量资料, 在原始数据满足独立性、正态性、方差齐性的前提条件下, 应选择相对应的方差分析, 但方差分析只能推断出各组样本所代表的总体均数之间是否相等。若想了解哪两组总体均数之间的差别具有显著的统计学意义, 则应采用均数间的多重比较 (multiple comparisons)。如果对多个样本均数直接进行两均数比较的 t -检验, 将会增大犯第一类错误的概率, 其结论可信度低。若单因素方差分析的前提条件不满足, 则应采用相应的非参数检验法对该资料进行分析^[4,11]。

2.1.2 在一项研究鳊鱼产卵时对寄主河蚌鳃不同位置选择的工作中^[12], 研究者试图通过室内和室外实验研究鳊鱼卵在寄主河蚌鳃

上的具体位置, 找出鳊鱼卵在河蚌鳃上的分布规律。方法为: 室内实验选用 6 种成熟河蚌, 每种河蚌各选择一枚共同放在一个装有细沙的圆盆中, 每次实验用两个圆盆, 共装 12 枚河蚌, 每种各两枚。同时选择 6~10 对成熟的高体鳊鱼 (*Rhodeus ocellatus*) 连同圆盆一起放入水族箱中, 实验分为 3 组, 分别观察 6 d (实验 1 和实验 2) 和 3 d (实验 3), 然后解剖观察蚌中鳊鱼卵的寄生状况。实验所记录的原始数据按有鱼卵寄生的记为“1”, 没有鱼卵寄生的记为“0”的方式转换, 左右鳃的比较和内外鳃的比较用 t -检验分析, 鳃的前、中、后的比较用方差分析。同样野外条件下鳊鱼类产卵位置的数据分析, 注明的统计方法为 t -检验和方差分析。篇幅有限, 只罗列出室内实验的结果 (表 2、3)。

辨析: (1) 资料类型判断错误。该资料观察的是有无鱼卵寄生的情况, 有鱼卵的记为 1, 无

表 2 室内条件下鳊鱼卵出现在河蚌左、右鳃的次数比较

Table 2 The comparison of Bitterling's egg found in the left and right gills (indoor experiments)

	实验一		实验二		实验三	
	出现次数	所占比例 (%)	出现次数	所占比例 (%)	出现次数	所占比例 (%)
左鳃有鱼卵	6	54.5	5	45.5	5	50
右鳃有鱼卵	5	45.5	6	54.5	5	50
左右鳃次数比较 P 值 (t -test)	0.363		0.341		0.242	

表 3 室内条件下鳊鱼卵出现在河蚌前、中和后鳃的次数比较

Table 3 The comparison of Bitterling's egg found in the inner and outer gills (indoor experiments)

	实验一		实验二		实验三	
	出现次数	所占比例 (%)	出现次数	所占比例 (%)	出现次数	所占比例 (%)
前鳃有卵	4	30.8	3	23.1	3	21.4
中鳃有卵	4	30.8	4	30.8	5	35.7
后鳃有卵	5	38.5	6	46.2	6	42.9
P 值 (t -test)	前、中鳃比较	1	0.898		0.164	
	中、后鳃比较	0.823	0.420		0.475	
	前、后鳃比较	0.559	0.608		0.004	

鱼卵的记为 0, 但实际上这里的“1”并不是代表真正数值, 它只是代表一种状态, 即有鱼卵寄生在河蚌的鳃上, “0”则代表无寄生状态。因而, 本资料从性质上来说应属于定性资料, 但原作者却把它判断成定量资料, 直接使用 t -检验去分析左鳃与右鳃、内鳃与外鳃上的选择差异, 以

及用方差分析来比较鳊鱼对河蚌鳃前、中、后的选择差异。这样使用统计方法是不对的^[6,9]。(2) 论文中注明采用方差分析方法, 但并未给出方差检验结果, 而是直接给出了组间两两比较 t -检验的 P 值结果 (表 3)。这就犯了对方差分析方法理解的错误; 同时单一给出 t -检验 P 值

结果,往往会使读者不能够了解真正的数据列表结构。例如,表 2 中实验 1 和实验 2 中左腮与右腮寄生卵的次数,一组是 6 和 5,另一组是 5 和 6。如果两组样本量相等,其统计检验结果 P 值应该是一致的,但表 2 的检验结果却不一致,一组对应的双尾检验 P 值为 0.363,另一组为 0.341。按照每组样本数量为 6 来验算结果,发现第一组的 P 值为方差齐性的结果,而第二组的 P 值为方差非齐性的结果。但按样本量为 6 来计算其他各组 P 值,发现其结果与原表中的不一样。所以在表述 t -检验和方差分析的结果时,要给出相应的自由度和统计量值,以便读者从侧面了解数据的列表结构和检查计算结果。(3)计算百分率、构成比等相对数时通常以 100 为基数,分母过小显得夸张、失真,不但不能正确反映事实真相,往往还会造成错觉。如

果观察的总例数小于 20,不宜计算相对数,直接给出各组的例数即可^[1]。

2.1.3 为了解褐翅鸚鵡 (*Centropus sinensis*) 在某自然保护区的种群现状^[13],研究者于 2005 年对保护区内褐翅鸚鵡数量进行了调查。该保护区有 3 个保护站,在每个保护站设置 2 条样线,样线长度为 3.0 km,单侧宽度为 0.05 km。论文注明的统计方法:采用 ONE-WAY ANOVA 进行差异比较分析。原结论:从表 4 看出,各季节的样线平均个体数存在一定差异,其中夏季样线平均个体数与春季、冬季相比较,经 F 检验,差异显著 ($P < 0.05$);在种群密度上夏季也最高。各季节均有部分样线未有个体记录,有个体记录的样线在调查样线中所占比例在不同季节间存在差异。冬季只有 16.7% 的样线记录到个体。

表 4 广东海丰鸟类自然保护区褐翅鸚鵡种群数量调查结果

Table 4 Census of Crow Pheasant in Guangdong Haifeng Avian Natural Reserve, China

	春季	夏季	秋季	冬季
个体数	3	32	13	2
样线平均个体数	0.50 ± 0.84 ^A	5.33 ± 5.50 ^B	2.17 ± 1.94 ^{AB}	0.33 ± 0.82 ^A
种群密度	1.67	17.78	7.22	1.11
有个体记录样线数比例	33.3	66.7	66.7	16.7

A, B 表示差异显著, $P = 0.05$ 。A, B: Significant difference at $P = 0.05$ level.

辨析:这是一个单因素 4 水平设计的定量资料,所采用的统计方法为单因素方差分析。然而,从表 4 所列大部分数据的标准差大于平均数看,该资料中的数据很可能不服从正态分布,而呈偏态分布,且 4 个季节间标准差相差较大,各组数据也已严重偏离了方差齐性,所以不能使用方差分析,应采用相应的非参数检验法分析该资料^[4,11]。此外,在百分率的表述上也容易给人失真的感觉,总共只有 6 条样线,直接表述冬季只有 1 条样线记录到个体即可,没有必要再转换成百分率 16.7%。

2.2 定性资料

2.2.1 在一项研究泽蛙食性的工作中^[14]。研究者共解剖 167 只泽蛙,解剖前先测量体长,鉴定性别。然后将体长划分为不同的等级去分析对比泽蛙的食性。同样,按性别划分为不同的

组别来对比泽蛙的食性。原文中注明的统计方法为方差分析。原文结论:由表 5(原表格太大,略有删减)看出,鳞翅目、直翅目出现的频次随泽蛙体长的增加有增加的趋势;同翅目出现的频次随体长的增加有减少的趋势,但经 χ^2 检验, $P < 0.05$, 差异不显著,这表明在大小不同的个体中鳞翅目、直翅目、同翅目无上述结果出现,可能是抽样误差所致。而鞘翅目、蜘蛛出现较大的振幅,经 χ^2 检验, $P < 0.01$, 差异显著,与分析结果相符,这种差异可能是由于个体大小不同导致捕食能力不同而出现较大的振幅;从表 6 经 χ^2 检验可以看出,雌雄个体只在捕食膜翅目中 ($P < 0.01$) 存在显著性差异,捕食其他食物 ($P > 0.05$) 无显著性差异。这说明雌雄个体间在食物选择上无明显差异。

表5 不同个体大小的泽蛙胃内容物成分比较

Table 5 The comparison of gastric contents between different size of *Rana limnocharis*

体长 (cm)	总频 次数	胃内容物种类出现频次																	
		直 翅 目	鳞 翅 目	鞘 翅 目	膜 翅 目	半 翅 目	同 翅 目	双 翅 目	等 翅 目	蜚 蠊 目	多 足 目	革 翅 目	环节 动物	蜘 蛛	螺 鱼 虾	幼 蛙	谷 粒	杂 草	草 籽
<3.5(27只)	44	1	6	17	12	0	4	1	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0
3.6~4.0(69只)	111	7	9	19	40	1	8	9	0	1	3	0	3	9	1	0	1	0	0
4.1~4.5(37只)	66	7	7	5	12	3	1	5	1	0	0	2	6	11	0	1	2	1	2
4.6~5.0(24只)	57	2	10	6	21	2	0	4	0	0	0	0	6	2	1	0	0	2	1
5.1~5.5(10只)	18	3	4	3	4	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
$\sum \chi^2$	6.33	4.58	17.09	6.83	0	8.74	2.12	0	0	0	5.47	11.6	0	0	0	0	0	0	0

表6 不同性别的泽蛙胃内容物成分比较

Table 6 The comparison of gastric contents between different sex of *Rana limnocharis*

性别	胃内容物种类出现频次																	
	直 翅 目	鳞 翅 目	鞘 翅 目	半 翅 目	同 翅 目	膜 翅 目	双 翅 目	革 翅 目	等 翅 目	蜚 蠊 目	多 足 目	环节 动物	蜘 蛛	螺 鱼 虾	幼 蛙	谷 粒	杂 草	草 籽
雄性	12	22	34	4	9	72	13	0	0	1	3	9	14	1	1	2	0	1
雌性	8	14	16	2	4	17	8	2	1	0	0	8	9	2	0	0	3	3
$\sum \chi^2$	0.46	0.59	0.02	0	0.03	7.69	0.26	4.06	2.03	0.49	1.47	1.55	0.41	1.57	0.49	0.99	6.17	3.23

辨析:(1)表述出现错误,论文中并未使用方差分析,使用的统计方法为卡方检验; $P < 0.05$,从统计学的意义上来讲差异是显著的,但表述为差异不显著。(2)表5是 5×18 的列联表,表6是 2×18 列联表。作者将表5及表6划分为多个 2×2 的列联表对比不同体长、性别间的食性差异。经划分之后,验算发现,大多数的 2×2 的列联表违反了使用Pearson χ^2 检验的前提条件,即卡方检验在这里检验功效低。并且不应该拆分成多个 2×2 的列联表,这样就割裂了整体,不能更全面地评价不同体长间食性的差异。(3)Pearson χ^2 检验在列联表中用于原因变量和结果变量的关联性检验,其本质是比较原因变量不同水平组频数分布的差异是否具有统计学意义。论文试图用卡方检验的结果说明鳞翅目、直翅目、同翅目的出现频次与蛙体长增减的关系,并且只是从表象上看到了频次上的增减关系,却没注意到实质性的问题,频率是

否随体长有明显增减变化的关系。例如,不同体长等级蛙中鳞翅目的出现频率为 $6/44$ 、 $9/111$ 、 $7/66$ 、 $10/57$ 、 $4/18$,并无明显的增减规律。

2.2.2 在一项普通大鸮(*Buteo hemilasius*)胃容物和食虫分析的工作中^[15],对采集到的14个胃容物和118个食虫中的猎物进行逐个分析鉴定,共分为3种类型:高原鼠兔、青海田鼠、小型鸟类。统计结果:胃容物组与食虫组在取食个体数($\chi^2 = 22.70 > \chi_{0.01}^2 = 9.21, P < 0.01$)、取食生物量($\chi^2 = 1735.71 > \chi_{0.01}^2 = 9.21, P < 0.01$)均存在极显著差异,但均说明高原鼠兔和青海田鼠等小型哺乳类是普通大鸮的主要食物来源。具体的列联表格为表7(原文中并无该表,根据文中所提供数据信息编制)。

辨析:这是一个原因变量与结果变量为 2×3 的列联表,原文使用卡方检验来对比胃容物和食虫中猎物频数分布的差异。但该表数据并不满足使用卡方检验的前提条件,即理论频

数小于 5 的格子数超过总格子数的 1/5, 最好采用 Fisher 精确检验来分析该列联表。

表 7 大鸮胃容物和食虫成分比较

Table 7 The comparison of components between gastric contents and food pellets

采集的 样品	猎物数量			合计
	高原鼠兔	青海田鼠	小型鸟类	
胃容物	14	34	2	50
食虫	59	23	2	84
合计	73	57	4	

3 讨论

通过上述罗列的一些实例, 读者可能会提出质疑, 关于定量资料成组设计 t -检验和方差分析的前提条件——方差齐性。在做统计检验时, 该前提条件的要求就真的那么严格吗? 况且现实的大部分实验结果中, 各组样本方差一般都不相等。近几十年大量的论文都在讨论方差齐性条件对 t -检验和方差分析的功效影响^[4, 16]。许多人认为可以允许方差非齐性在一定小的范围内发生变化, 但千万不要因为这样的观点就忽略方差齐性的重要性^[4], 仔细观察表 4, 最大标准差是最小标准差的 6.7 倍, 这已严重偏离了方差齐性, 统计结论可信度低, 这时应采用相应的非参数检验。所以, 当定量资料中的正态性和方差齐性的检验都通过了, 用 t -检验或方差分析, 根基牢固, 结论的可信度高; 反之, 结论的可信度低, 偏离参数检验方法的前提条件越远, 可信度就越差, 这时若能找到相应定量资料的非参数检验方法则更省事, 但非参数检验牺牲了大量的信息, 检验功效因此也会降低。

近几十年来已发表大量关于多重比较方法的研究论文, 但是到目前为止没有哪一种方法被统计学家认为是最好且最为通用的方法^[4, 16]。Zar^[4]曾指出在这些方法中被广泛采用的有 Tukey test (该方法被统计学家认为是最诚实的统计学方法, 即不易达到差异显著)、Newman-Keuls test (也称为 Q 检验法或 SNK 检验法)、Duncan test (也称为 SSR 法)、LSD (也叫

最小显著差数法)^[4]。Carmer 等^[2]引入 Monte Carlo 模拟, 研究了大量的多重比较法, 他们的报告指出, 如果方差分析的 F -检验法是将显著水平定为 5%, 则 LSD 法在检验真实的均值差方面是一个十分有效的检验法; 报告还指出, Duncan 法在检验真实差异方面有好的性能^[2, 17]。笔者认为在各种常用多重比较方法中, 可以从保守性 (conservative) 和宽松性 (liberal) 两个方面区分, 就保守性而言 (不容易得到显著性差异的结果), Tukey test 最保守, 其次为 Newman-Keuls test, 再次为 Duncan test, 最后为 LSD (the least significant difference); 但从宽松性来看 (较容易得到显著性差异的结果), 4 种方法的顺序刚好相反。因此在选取多重比较的方法中, 应该考虑研究的性质再做决定。对于探索性的研究, 应考虑统计的宽松性, 尽可能地找出差异; 若是验证性的研究, 则应考虑强调保守性, 除非两组平均数差异非常显著, 否则宁可接受原假设。此外, 做多重比较时, 如果研究者只是要比较对照组与其他各实验组的差异, Dunnett 提出的 Dunnett- t 检验方法适用于对照组与实验组的比较^[4]。总之, 针对多重比较的方法还有很多种, 若读者想了解这些方法可阅读 Toothaker^[18] 和 Miller^[19] 的论述。

野生动植物的研究中经常会使用到列联表, 但是许多研究者往往会不恰当的使用具体的统计方法, 进而得出错误的推论^[20]。例如 Pearson χ^2 检验在列联表中是一种最常用的统计方法, 但我们往往忽视使用它的前提条件, 导致的结果是结论的可靠性大大降低, 甚至会出现相反的结论。虽然在 4.5 节中表 7 的 Pearson χ^2 检验结果与 Fisher 精确检验的结果恰巧是一致的, 即 $P < 0.01$, 但从统计使用的前提条件来看, 该方法的使用是不恰当的, 换成另外一组数据很可能会得到相反的结果; 同时还要清楚列联表中的一般 χ^2 检验结果能做出什么样的推论, 正如上文所说, 该检验一般用于两个定性变量的关联性检验, 其本质是比较原因变量的不同水平组的频数分布是否有差异。所以不可以用于检验某一列结果变量的出现频次和有序的

原因变量的增减关系。还要注意,如果统计结果差异显著,千万不要认为两个变量具有相关关系,因为统计学上的相关关系,是指线性相关,两个变量不相关,并不代表它们不存在其他的函数关系,关联性检验也并非相关性检验。关于推论错误和方法使用不当还有一些其他比较有意思的例子^[20],列联表的种类较多,分析方法也有多种,有时一种结构的列联表,可以对应好几种统计方法。例如双向有序且属性不同的 $R \times C$ 表的资料,一般有 4 个分析目的^[1]。(1)若只关心各组结果变量的取值之间的差别是否具有统计学意义,此时原因变量的有序性就变得无关紧要,可以选用的统计方法有秩和检验、Ridit 分析和有序变量的 logistic 回归分析。(2)若希望考察原因变量与结果变量是否存在线性相关关系,通常采用 Spearman 秩相关分析方法。(3)若两个有序变量之间存在的的关系有统计学意义,研究者希望了解这两个有序变量之间的变化关系是呈直线关系还是某种曲线关系,此时最好选用线性趋势检验。(4)若只是希望考察各行上的频数分布是否相同,此时应选用 Pearson χ^2 检验或 Fisher 精确检验。所以具体的统计方法须根据研究目的而选用,不可随意选用。

虽然统计学方法众多,但只要搞清楚每种方法的适用条件和所对应的资料类型,明确实验目的,就能合理选用统计方法进行数据分析,从而保证结论的可信度。

参 考 文 献

- [1] 胡良平编著.口腔医学科研设计与统计分析.北京:人民军医出版社,2007,152~190,24~30.
- [2] Montgomery D C 著(汪仁官,陈荣昭译).实验设计与分析(第三版).北京:中国统计出版社,1998,55~98,140~142.
- [3] 胡良平编著.统计学三型理论在实验设计中的应用.北京:人民军医出版社,2006,44~63.
- [4] Zar J H ed. Biostatistical Analysis (4th Edition). New Jersey: Prentice Hall, 1999, 177~206, 208~228, 461~512.
- [5] 杜荣骞编著.生物统计学.北京:高等教育出版社,2001,103~129.
- [6] 李春喜,姜丽娜,邵云编著.生物统计学(第三版).北京:科学出版社,2005,62~64,80~128.
- [7] Cochran W G. Some methods for strengthening the common χ^2 test. *Biometrics*, 1954, **10**(4): 417~451.
- [8] Snedecor G W, Cochran W G. Statistical Methods (7th Edition). Iowa: Iowa State University Press, 1980, 107~129.
- [9] Rosner B ed(孙尚拱译).生物统计学基础(第五版).北京:科学出版社,2005,204~386,489~505.
- [10] 魏振邦,史建全,孙新等.6个地区青海湖裸鲤肌肉营养成分分析.动物学杂志,2008, **43**(1): 96~101.
- [11] 胡良平,高辉.《中西医结合学报》2006年第1期论文中统计学应用错误辨析.中西医结合学报,2008, **6**(1): 98~106.
- [12] 曾燊,刘焕章,沈建忠.鲟鳇鱼类产卵时对河蚌鳃不同位置的选择.动物学报,2006, **52**(2): 272~278.
- [13] 曾向武,谢钊毅,胡军华等.广东海丰鸟类自然保护区褐翅鸫数量调查.动物学杂志,2008, **43**(3): 71~74.
- [14] 周亚平.抚州市泽蛙的食性.动物学杂志,2001, **36**(5): 43~45.
- [15] 李来兴,易现峰,李明财等.普通大鸊胃容物和食虫分析.动物学研究,2004, **25**(2): 162~165.
- [16] Alexander R A, Govern D M. A new and simpler Approximation for ANOVA under variance and heterogeneity. *Journal of Educational Statistics*, 1994, **19**(2): 91~101.
- [17] Carmer S G, Swanson M R. An evaluation of ten pairwise multiple comparison procedures by Monte Carlo methods. *Journal of the American Statistical Association*, 1973, **68**(341): 66~74.
- [18] Toothaker L E ed. Multiple Comparisons for Researchers. Newbury Park, Calif: Sage Publications, 1991, 1~176.
- [19] Miller R G Jr. Developments in multiple comparisons. *Journal of the American statistical Association*, 1977, **72**(360): 779~788.
- [20] Engeman R M, Swanson G D. On analytical methods and inferences for 2×2 contingency table data using wildlife examples. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2003, **52**(4): 243~246.