

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.03.012

基于 Bayes 方法的节水灌溉产品质量抽样检验方案研究^{*}

赵 华 许 迪
(国家节水灌溉北京工程技术研究中心, 北京 100044)

【摘要】 利用节水灌溉产品质量抽样检验先期数据和经验,构建基于 Bayes 方法的节水灌溉产品质量抽样检验方案,利用该方案对塑料管材和滴灌灌水器以及旋转式喷头进行产品质量检验的新样本抽样。结果表明,产品检验样本量降低率 E 主要与先验产品合格率方差 S_R^2 和先验产品合格率均值 R_a 有关,对小于 1 200 的常用产品批量, $S_R^2 = 0.002$ 和 $R_a = 0.95$ 下的塑料管材和滴灌灌水器以及旋转式喷头的产品检验样本量降低率分别高于 62% 和 85%。基于 Bayes 方法的节水灌溉产品质量抽样检验方案,可在保证与现行常规产品质量抽样检验效果相同条件下,使产品质量检验新样本的抽样数量降低 20% 以上,从而达到有效减少抽样数量、降低检验成本、提高检验效益的目的。

关键词: 节水灌溉 产品质量 抽样检验 Bayes 方法
中图分类号: S275.5; O212.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)03-0056-06

Study and Application on Sampling Test Plan of Water-saving Irrigation Products Based on Bayes Method

Zhao Hua Xu Di
(National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research, Beijing 100044, China)

Abstract

The Bayes method sampling plan of water saving irrigation products was established by using the prior data and experiment. The Bayes sampling plan results of plastic pipes, micro-irrigation emitters and rotating sprinkler were collected and showed the sample decrease ratio E mainly had a relationship with prior product qualified ratio variance S_R^2 and average R_a . In normal lot it was less than 1 200, if $S_R^2 = 0.002$ and $R_a = 0.95$, sample decrease ratio of plastic pipes and micro-irrigation emitters was higher than 62%, also sample decrease ratio of rotating sprinkler was higher than 85%. Compared with normal sampling plan, the Bayes sampling plan could reduce the sampling number more than 20% in the condition of same inspection effect; therefore the Bayes sampling plan reached the purpose of reducing the sampling number, lowering the inspection cost and increasing the inspection benefit.

Key words Water saving irrigation, Product quality, Sampling plan, Bayes method

引言

合格的节水灌溉产品质量是确保优质节水灌溉工程建设的重要前提条件。目前在节水灌溉产品质量检验过程中,通常是依据相关产品标准规范中规定的常规产品质量抽样检验方案,达到了解和判断

节水灌溉产品质量的目的^[1]。然而在常规的产品质量抽样检验方案中,过多的产品抽样数量往往会加重检验的工作量,增加产品质量抽样检验时间和成本,为此,有必要借助新技术与方法对现有节水灌溉产品质量抽样检验方案进行改进。Bayes 统计方法是

在小样本或无样本信息前提下,基于待估

收稿日期: 2009-01-14 修回日期: 2009-07-20
^{*} 科技部社会公益研究专项(2002DIA10005)
作者简介: 赵华,高级工程师,主要从事节水灌溉技术与设备质量检测研究,E-mail: zhaohua@iwhr.com
通讯作者: 许迪,教授级高级工程师,主要从事农业节水技术研究,E-mail: xudi@iwhr.com

参数历史资料或先验知识,获得较佳参数估计的一种方法^[2],近年来已在产品的结构优化设计、可靠性评估、质量安全监控等方面得到应用^[3-5]。但现有研究文献中,尚未发现将 Bayes 方法用于改进产品质量抽样检验方案的相关成果。基于厂家或质量检测机构积累的产品质量抽样检验数据及经验所提供的先验信息,利用 Bayes 方法对现有产品标准规范中规定的常规产品质量抽样检验方案进行必要的改进,可在符合要求的产品质量抽样检验效果同时,达到有效减少产品抽样数量、降低检验成本的目的。本文利用节水灌溉产品质量抽样检验先期测试数据,构建基于 Bayes 方法的节水灌溉产品质量抽样检验方案,利用改进的产品质量抽样检验方案对塑料管材、滴灌灌水器 and 旋转式喷头进行产品新样本的抽样计算,并与规定的常规产品质量抽样检验方案中的产品抽样数量进行分析对比,探讨应用改进方案的可行性。

1 产品质量抽样检验方案

Bayes 方法是将产品合格率视为随机变量,依据先期获得的产品质量检验测试数据,确定产品合格率的先验分布状态。在对产品质量进行新的抽样检验时,利用先验分布状态和新的产品样本信息,获得产品合格率的后验分布状态,并在产品合格率最大后验风险满足厂方和使用方风险基础上,确定产品质量新样本的抽样检验数量。

1.1 常规产品质量抽样检验方案

在常规的产品质量抽样检验方案中^[6],若从某批次产品中抽取的产品数量为 n ,最大允许的不合格产品数量为 c ,则在给定可接收的产品合格率 R_0 、不可接收的产品合格率 R_1 、厂方风险 α 和使用方风险 β 后,由下式通过试算得到相应的 n 和 c 值^[7]

$$\begin{cases} L(R_0) = \sum_{i=0}^c \binom{n}{i} R_0^{n-i} (1-R_0)^i = 1-\alpha \\ L(R_1) = \sum_{i=0}^c \binom{n}{i} R_1^{n-i} (1-R_1)^i = \beta \end{cases} \quad (1)$$

式中 $L(R)$ ——产品接收概率

R ——产品合格率

在产品质量抽样检验过程中(x 为合格产品数量,且 $x = n - c, n - c + 1, \dots$),对产品质量的判定结论常存在 4 种可能(表 1),其中会出现两类错误。第一类错误是无论产品合格率 R 有多高,当 $x < n - c$ 时,该批次产品被拒收,这将使厂方受到损失,这种把高质量的产品批次当作不好产品批次加以拒收的概率称为厂方风险 α ,在制定产品质量抽样检验方案时,厂方希望 α 应尽量小。第二类错误是无论

产品合格率 R 有多小,当 $x \geq n - c$ 时,该批次产品被接收,这将导致使用方受到损失,这种把低质量的产品批次当作良好产品批次加以接收的概率称为使用方风险 β ,在制定产品质量抽样检验方案时,使用方希望 β 应尽量小。

表 1 产品质量抽样检验过程中可能存在的判定结论
Tab.1 Possible discriminating conclusion in the process of product quality sampling

产品批次的 真实质量	抽样数据 状况	判定 结论	结论 评价
$R \geq R_0$	$x \geq n - c$	接收该批次	正确
$R \geq R_0$	$x < n - c$	不接收该批次	第一类错误
$R < R_1$	$x \geq n - c$	接收该批次	第二类错误
$R < R_1$	$x < n - c$	不接收该批次	正确

1.2 产品合格率的先验分布状态

对批量较大的产品而言,若抽取的 n 件产品中有 x 件为合格品,则随机变量 x 的分布为二项式分布函数^[8]

$$p(x/R) = \binom{n}{x} R^x (1-R)^{n-x}$$

$(x = 0, 1, \dots, n, R \in (0, 1))$

(2)

式(2)中产品合格率 R 的共轭先验分布为 Beta 分布

$$p(R) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} R^{a-1} (1-R)^{b-1}$$

$(a > 0, b > 0, R \in (0, 1))$

(3)

式中 $a、b$ ——大于零的参数

$\Gamma(\cdot)$ ——Gamma 函数

采用矩方法确定式(3)中的参数^[9],根据厂方或质量检测机构得到的先验数据获得产品合格率 R 的 k 个估计值,记为 $r_1, r_2, \dots, r_k$,由此可计算先验产品合格率均值 R_a 和先验产品合格率方差 S_R^2 为

$$R_a = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k r_i \quad S_R^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (r_i - R_a)^2$$

令 R_a 和 S_R^2 分别等于 Beta 分布函数的期望与方差,即先求出先验产品合格率 Beta 分布函数中的参数 a 和 b

$$\frac{a}{a+b} = R_a \quad \frac{ab}{(a+b)^2(a+b+1)} = S_R^2$$

1.3 基于 Bayes 方法的产品质量抽样检验方案

由式(2)和式(3)可知,产品合格率 R 的后验分布仍为 Beta 分布^[9]

$$p(R/x) = \frac{\Gamma(a+b+n)}{\Gamma(a+x)\Gamma(b+n-x)} R^{a+x-1} (1-R)^{b+n-x-1}$$

$(x = 0, 1, \dots, n - c)$

(4)

则可证明得到以下两个不等式成立^[10]

$$P(R \geq R_0/x = s) \geq P(R \geq R_0/x = s - 1) \quad (5)$$

$$P(R \leq R_1/x = s) \leq P(R < R_0/x = s - 1) \quad (6)$$

式中 s ——整数

对厂方而言,由表 1 显示的第一类错误可得到 x 取值范围,并由式(5)计算厂方承受的最大后验风险^[11]

$$\max_{x \leq n - c - 1} P(R \geq R_0/x) = P(R \geq R_0/x = n - c - 1) \quad (7)$$

由式(5)可知,只要 $P(R \geq R_0/x = n - c - 1) \leq P(R \geq R_0/x = n - c) \leq \alpha$,则犯第一类错误的可能性(厂方风险)不大于 α ,且该式等价

$$P(R \leq R_0/x = n - c) \geq 1 - \alpha \quad (8)$$

将式(8)代入式(4)可得

$$\int_0^{R_0} \frac{\Gamma(a + b + n)}{\Gamma(a + n - c)\Gamma(b + c)} \cdot R^{a + n - c - 1} (1 - R)^{b + c - 1} dR \geq 1 - \alpha \quad (9)$$

对使用方而言,由表 1 显示的第二类错误可得到 x 取值范围,并由式(6)计算使用方承受的最大后验风险为

$$\max_{x \geq n - c} P(R \leq R_1/x) = P(R \leq R_1/x = n - c) \quad (10)$$

由式(6)可知,只要 $P(R \leq R_1/x = n - c) \leq \beta$,则犯第二类错误的可能性(使用方风险)不大于 β ,将 $P(R \leq R_1/x = n - c) \leq \beta$ 代入式(6)可得

$$\int_0^{R_1} \frac{\Gamma(a + b + n)}{\Gamma(a + n - c)\Gamma(b + c)} \cdot R^{a + n - c - 1} (1 - R)^{b + c - 1} dR \leq \beta \quad (11)$$

当基于先期试验数据获得产品质量检验的先验分布状态后,可得到先验产品合格率 $Beta$ 分布函数中的参数 a 和 b ,并通过给定的 R_0 、 R_1 、 α 和 β 值,利用式(9)和式(11)经试算后求得后验产品最大允许不合格数量 c 和后验产品抽样数量 n 。通常基于 Bayes 方法得到的后验产品抽样数量 n 要小于基于式(1)计算的常规产品质量抽样检验方案下的相应值。利用先期数据信息以及产品合格率 R 的先验分布状态,利用基于 Bayes 方法的产品质量抽样检

验方案,可实现减少产品抽样样本数量的目的。由于常规产品质量抽样检验方案与基于 Bayes 方法的产品质量抽样检验方案均采用同样的 R_0 、 R_1 、 α 和 β ,故两种方法对犯两类错误的风险控制相同,即可获得相同的产品质量抽样检验效果。

2 基于 Bayes 方法的节水灌溉产品质量抽样检验方案应用

基于 Bayes 方法的产品质量抽样检验方案对节水灌溉常用产品塑料管材、滴灌灌水器、旋转式喷头的部分质量指标进行样本抽样计算,将该结果与常规产品质量抽样检验方案下获得的抽样结果进行比较,分析利用基于 Bayes 方法的产品质量抽样检验方案替代常规产品质量抽样检验方案的可行性。

2.1 产品抽样计算

2.1.1 塑料管材和滴灌灌水器

针对节水灌溉常用产品塑料管材的颜色、外观、不透光性、规格尺寸和弯曲度质量指标^[12~14]以及滴灌灌水器的外观、尺寸和流量均匀度质量指标^[15~16],常依据一般检验水平 I 和合格质量水平 AQL 为 0.065,确定相应的常规产品质量抽样检验方案。不同检验水平下对应着不同的产品批量^[6],对常用产品批量 281 ~ 500 而言,可接收的产品合格率 $R_0 = 1 - 0.065 = 0.935$,不可接收的产品合格率 $R_1 = 0.304$,使用方风险 $\beta = 0.100$,厂方风险 $\alpha = 0.037 4$,则利用式(1)可计算得到常规产品质量抽样检验方案(n, c)中的 $n = 20$ 和 $c = 3$ 。根据以往的检测数据,先验产品合格率 R_a 通常大于 0.85,可分别取 R_a 为 0.85、0.90 和 0.95 进行计算。若定义后验产品抽样数量的减少值与产品常规检验抽样数量的比值为样本量降低率 E ,则表 2 给出 $R_a = 0.90$ 时不同先验产品合格率方差 S_R^2 下的后验产品抽样数量 n 、后验产品最大允许不合格数量 c 和以及样本量降低率 E ,且 $R_a = 0.90$ 下 S_R^2 与 E 的对应关系如图 1c 所示。对塑料管材和滴灌灌水器的其他较为

表 2 塑料管材和滴灌灌水器的 Bayes 抽样检验计算结果
Tab.2 Bayes sampling results of plastic pipes and micro-irrigation emitters

参数	先验产品合格率方差 S_R^2									
	0.002	0.004	0.006	0.008	0.010	0.012	0.014	0.016	0.018	
先验产品合格率 Beta 分布函数	参数 a	39.60	19.35	12.60	9.23	7.20	5.85	4.89	4.16	3.60
	参数 b	4.40	2.15	1.40	1.03	0.80	0.65	0.54	0.46	0.40
后验产品抽样数量 n		3	5	9	15	17	18	18	19	19
后验产品最大允许不合格数量 c		3	3	3	3	4	4	4	4	4
α		0.018	0.018	0.029	0.018	0.023	0.026	0.026	0.030	0.029
β		0.008	0.086	0.093	0.100	0.087	0.084	0.097	0.086	0.093
样本量降低率 $E/\%$		85.0	75.0	55.0	25.0	15.0	10.0	10.0	5.0	5.0

常用的产品批量 91 ~ 150、151 ~ 280 和 501 ~ 1 200 而言,分别采用上述方法和指标进行产品抽样计算,

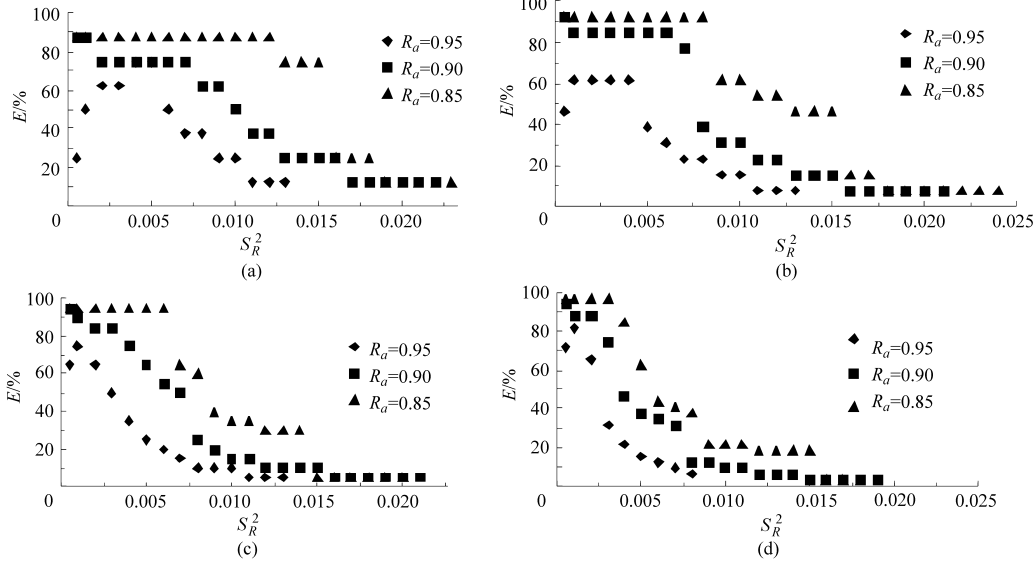


图 1 塑料管材和滴灌灌水器下 S_R^2 与 E 的关系

Fig. 1 Relationship between S_R^2 and E in plastic pipes and micro-irrigation emitters

(a) 批量 91 ~ 150 (b) 批量 151 ~ 280 (c) 批量 281 ~ 500 (d) 批量 501 ~ 1 200

2.1.2 旋转式喷头

在旋转式喷头常温耐压质量指标^[17]的抽样检验方案中,采用特殊检验水平 S-4 和合格质量水平 AQL 为 0.025,确定相应的常规产品质量抽样检验方案。对常用产品批量 151 ~ 500 而言, $R_0 = 1 - 0.025 = 0.975$, $R_1 = 0.268$, $\beta = 0.100$, $\alpha = 0.040\ 6$,则常规

产品质量抽样检验方案中的 $n = 13$ 和 $c = 1$ 。取 $R_a = 0.90$,旋转式喷头的 Bayes 抽样检验计算结果以及相应的 S_R^2 与 E 的关系分如表 3 和图 2b 所示。旋转式喷头其他较为常用批量 91 ~ 150 和 501 ~ 1200 与不同 R_a 值相对应的 S_R^2 和 E 的关系如图 2 所示。

表 3 旋转式喷头的 Bayes 抽样检验计算结果

Tab.3 Bayes sampling results of rotating sprinkler

参数		先验产品合格率方差 S_R^2							
		0.002	0.004	0.006	0.008	0.010	0.012	0.014	0.016
先验产品合格率 Beta 分布函数	参数 a	39.60	19.35	12.60	9.23	7.20	5.85	4.89	4.16
	参数 b	4.40	2.15	1.40	1.03	0.80	0.65	0.54	0.46
后验产品抽样数量 n		1	1	3	4	11	11	12	12
后验产品最大允许不合格数量 c		0	1	1	1	2	2	2	2
α		0.013	0.012	0.026	0.040	0.015	0.016	0.021	0.022
β		0.002	0.056	0.080	0.097	0.082	0.097	0.087	0.095
样本量降低率 $E/\%$		92.3	92.3	76.9	69.2	15.4	15.4	7.7	7.7

2.2 计算结果分析

由于产品合格率 R 的先验分布函数参数值 a 和 b 取决于 R_a 和 S_R^2 ,故由先期数据信息以及产品合格率 R 的先验分布状态得到的后验分布状况也与 R_a 和 S_R^2 有关,致使样本量降低率 E 与 R_a 和 S_R^2 密切相关。正常情况下,假定 R_a 值均匀分布在区间 $[2R_a - 1, 1]$,当产品合格率 R 的先验数据量 k 确定之后,可计算得到先验产品合格率方差 S_R^2 的最大值(表 4),故通常情况下 S_R^2 值都位于图 1 和图 2 横坐标数据点范围内。从表 4 和图 1 及图 2 可知,对小

于 1 200 的常用产品批量而言, $R_a = 0.95$ 下的 S_R^2 值通常小于 0.002,塑料管材和滴灌灌水器以及旋转式喷头的样本量降低率 E 分别大于 62% 和 85%, $R_a = 0.90$ 下的 S_R^2 值常小于 0.006,塑料管材和滴灌灌水器以及旋转式喷头的 E 值分别大于 34% 和 45%, $R_a = 0.85$ 下的 S_R^2 值常小于 0.014,塑料管材和滴灌灌水器以及旋转式喷头的 E 值分别大于 19% 和 20%,对应于不同的 R_a 和 S_R^2 值,节水灌溉产品的样本量降低率 E 值至少大于约 20%。

从图 1 和图 2 显示的结果可以看出,在相同产

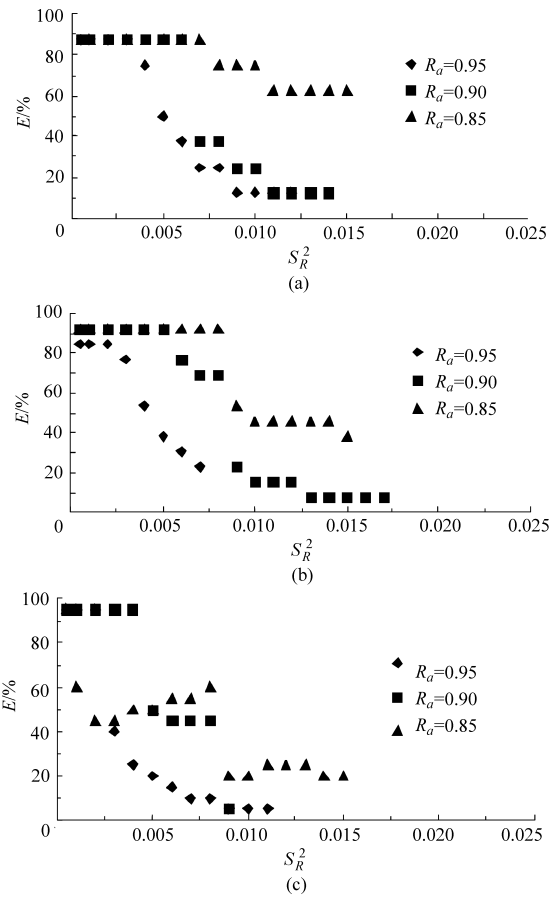


图2 旋转式喷头下 S_R^2 与 E 的关系

Fig.2 Relationship between S_R^2 and E in rotating sprinkler
(a) 批量 91 ~ 150 (b) 批量 151 ~ 500 (c) 批量 501 ~ 1 200

表 4 不同 k 值下 S_R^2 的最大值与 R_a 的关系

Tab.4 Relationship between maximum S_R^2 and R_a in different k

R_a	S_R^2 的最大值			
	$k = 5$	$k = 10$	$k = 20$	$k \rightarrow \infty$
0.95	0.001 56	0.001 13	0.000 97	0.000 84
0.90	0.006 25	0.004 53	0.003 88	0.003 30
0.85	0.014 00	0.010 19	0.008 73	0.007 50

品批量、不同先验产品合格率均值 R_a 条件下,塑料管材和滴灌灌水器以及旋转式喷头的样本量降低率 E 多数呈现出随先验产品合格率方差 S_R^2 的增大而逐渐下降的变化趋势,这表明先验产品的合格率越精确,产品抽样的样本量降低率则越高。此外,同一 R_a 和 S_R^2 值下,随着产品批量的增加,塑料管材和滴灌灌水器以及旋转式喷头的样本量降低率都将下降。

如图 1 和图 2 所示,与旋转式喷头相比,塑料管材和滴灌灌水器的 E 值随 S_R^2 变化的趋势相对平缓,这是由于其常规抽样方案中的产品抽样数量为 20,大于旋转式喷头的抽样数量 13。此外,通常 E 值随 S_R^2 的增大而降低,但也存在如图 1 中 $R_a = 0.95$ 和图 2c 中 $R_a = 0.85$ 下的特例情况,其原因在于当采用式(9)和式(11)确定后验产品抽样检验方案时,由于抽样数量为整数,导致计算的后验概率没有同时接近厂方风险 α 和使用方风险 β 。

3 结束语

在利用节水灌溉产品质量抽样检验先期数据确定产品合格率的先验分布状况基础上,基于 Bayes 方法获得相关产品合格率的后验分布状态,以产品合格率最大后验风险同时满足厂方和使用方风险为依据,对塑料管材和滴灌灌水器以及旋转式喷头进行产品质量检验的新样本抽样。产品检验样本量降低率 E 主要与先验产品合格率方差 S_R^2 和先验产品合格率均值 R_a 有关, $S_R^2 = 0.002$ 和 $R_a = 0.95$ 下的塑料管材和滴灌灌水器以及旋转式喷头的产品检验样本量降低率 E 分别高于 62% 和 85%,在不同的 R_a 和 S_R^2 值下,上述节水灌溉产品检验的样本量降低率 E 值至少大于约 20%。先验产品合格率越精确,改进后的产品检验新样本抽样数量减少越明显,进而达到减少产品质量检验抽样数量、降低检验成本和时间、提高检验效益的目的。

参 考 文 献

1 许迪,龚时宏,高本虎,等. 中国节水灌溉产品质量现状分析及改善对策[J]. 农业工程学报,2004,20(5): 6 ~ 11.
Xu Di, Gong Shihong, Gao Benhu, et al. Status analysis of the quality of China's efficient irrigation products and perfecting countermeasures [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004,20(5): 6 ~ 11. (in Chinese)

2 Coolen F P A. On Bayesian reliability analysis with informative priors and censoring [J]. Reliability Engineering and System Safety, 1996, 53(1): 91 ~ 98.

3 Fischer D, Szabados B, Poehlman W F S. Using a Bayes classifier to optimize alarm generation to electric power generator stator overheating [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2003, 52(3): 703 ~ 709.

4 赵焱,董豆豆,周经伦,等. 基于贝叶斯方法的退化失效型产品实时可靠性评估[J]. 国防科技大学学报,2007,29(6): 116 ~ 120.
Zhao Zhao, Dong Doudou, Zhou Jinglun, et al. Real-time reliability evaluation for degradation failure product based on Bayes method [J]. Journal of National University of Defense Technology, 2007, 29(6): 116 ~ 120. (in Chinese)

5 柴胜丰,张国权. 基于 Bayes 统计的蔬菜产品质量安全监控系统研究[J]. 数理统计与管理,2007,26(6): 966 ~ 970.

Chai Shengfeng, Zhang Guoquan. The research on vegetable quality security control system based on Bayesian statistics[J]. Application of Statistics and Management, 2007, 26(6): 966 ~ 970. (in Chinese)

6 GB/T 2828.1—2003 计数抽样检验程序，第一部分：按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划[S].

GB/T 2828.1—2003 Sampling procedures for inspection by attributes——Parts 1: sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection[S]. (in Chinese)

7 肖慧,张玉柱. GB/T 2828.1—2003《计数抽样检验程序，第一部分：按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划》理解与实施[M]. 北京:中国标准出版社,2003.

8 言茂松. 贝叶斯风险决策工程[M]. 北京:清华大学出版社,1989.

9 茆诗松. 贝叶斯统计[M]. 北京:中国统计出版社,1999.

10 苏德清. 可靠性标准及其应用[M]. 北京:国防工业出版社,1988.

11 姜礼平,张志华. 成败型产品成功率鉴定试验的一种 Bayes 方法[J]. 工程数学学报,2000,17(4): 25 ~ 29.

Jiang Liping, Zhang Zhihua. A Bayesian method of reliability qualification test in binomial case [J]. Chinese Journal of Engineering Mathematics, 2000,17(4): 25 ~ 29. (in Chinese)

12 GB/T 13664—2006 低压输水灌溉用硬聚氯乙烯(PVC-U)管材[S].

GB/T 13664—2006 Unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U) pipes for low-pressure conveyance in irrigation [S]. (in Chinese)

13 GB/T 19472.1—2004 埋地用聚乙烯(PE)结构壁管道系统第 1 部分:聚乙烯双壁波纹管材[S].

GB/T 19472.1—2004 Polyethylene structure wall pipeline system for underground usage——Part I: polyethylene double wall corrugated pipes[S]. (in Chinese)

14 GB/T 10002.1—2006 给水用硬聚氯乙烯(PVC-U)管材[S].

GB/T 10002.1—2006 Unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U) pipes for water supply[S]. (in Chinese)

15 GB/T 19812.1—2005 塑料节水灌溉器材单翼迷宫式滴灌带[S].

GB/T 19812.1—2005 Plastic equipment for water saving irrigation——drip tape with labyrinth on one side [S]. (in Chinese)

16 GB/T 19812.2—2005 塑料节水灌溉器材压力补偿式滴头及滴灌管[S].

GB/T 19812.2—2005 Plastic equipment for water saving irrigation——pressure compensating emitter and emitting pipe[S]. (in Chinese)

17 GB/T 19795.1—2005 农业灌溉设备旋转式喷头:第 1 部分:结构和运行要求[S].

GB/T 19795.1—2005 Agricultural irrigation equipment——rotating sprinklers——Part 1: design and operational requirements[S]. (in Chinese)

(上接第 55 页)

4 崔国贤,沈其绒,崔国清,等. 水稻旱作及对旱作环境的适应性研究进展[J]. 作物研究, 2001(3):70 ~ 74.

5 张明柱,李远华,崔远来. 非充分灌溉条件下水稻生长发育及生理机制研究[J]. 灌溉排水,1994,13(4):6 ~ 10.

Zhang Mingzhu, Li Yuanhua, Cui Yuanlai. Studies on the growth and physiological mechanism of rice cultivated under the condition of deficit irrigation [J]. Irrigation and Drainage,1994,13(4):6 ~ 10. (in Chinese)

6 郝树荣. 作物干旱胁迫及复水的补偿效应研究[D]. 南京:河海大学,2008.

Hao Shurong. Compensatory effects of drought stress and rewating on crops [D]. Nanjing: Hohai University, 2008. (in Chinese)

7 刘晓英,罗远培,石元春. 水分胁迫后复水对冬小麦叶面积的激发作用[J]. 中国农业科学, 2001,34(4):422 ~ 428.

Liu Xiaoying, Luo Yuanpei, Shi Yuanchun. The stimulating effects of rewating in subjecting to water stress on leaf area of winter wheat [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2001, 34(4):422 ~ 428. (in Chinese)

8 张林青,马爱京. 高产水稻群体茎蘖组成和叶面积指数及其关系的研究[J]. 云南农业大学学报, 2004, 19(2):179 ~ 183.

Zhang Linqing, Ma Aijing. Study on the constitution of LAI and stems and tillers and their relationship in early stage of high-yielding population in rice [J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2004,19(2):179 ~ 183. (in Chinese)