



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF xxxx—202x

半自动生化分析仪校准规范

Calibration Specification of Semiautomatic Clinical Chemistry Analyzers

(征求意见稿)

202x-xx-xx 发布

202x-xx-xx 实施

国家市场监督管理总局 发布

半自动生化分析仪校准规范

Calibration Specification of Semiautomatic Clinical

Chemistry Analyzers

JJF xxxx—202x

归口单位：全国生物计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

广东省计量科学研究院

中检（河南）计量检测有限公司

本规范委托全国生物计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

张宁（中国计量科学研究院）

武利庆（中国计量科学研究院）

黄彦捷（广东省计量科学研究院）

丁峰元（中检河南计量检测有限公司）

全国生物计量技术委员会

目 录

引言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语	1
3.1 半自动生化分析仪	1
3.2 吸光度	1
4 概述	1
5 计量特性	2
6 校准条件	2
6.1 环境条件	2
6.2 标准物质	2
6.3 蒸馏水或去离子水。	3
7 校准项目和校准方法	3
7.1 外观	3
7.2 稳定性	3
7.3 杂散光	3
7.4 吸光度示值误差	3
7.5 吸光度重复性	4
7.6 线性误差	4
7.7 携带污染率	5
8 校准结果表达	5
9 复校时间间隔	6
附录 A 校准原始记录（推荐）格式	7
附录 B 线性回归中斜率与截距的计算	9
附录 C 吸光度示值误差校准不确定度评定示例	10
附录 D 线性误差校准不确定度评定示例	13

引 言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写，在参照 YY/T 0014-2005《半自动生化分析仪》的基础上，结合半自动生化分析仪在我国使用发展的现状编制。本规范用于替代 JJG 464-2011《半自动生化分析仪检定规程》，适用于半自动生化分析仪的校准。

本规范为首次发布。

半自动生化分析仪校准规范

1 范围

本规范适用于基于朗伯-比尔定律的半自动生化分析仪的校准。不适用于干式半自动生化分析仪的校准。

2 引用文件

YY/T 0014-2005 《半自动生化分析仪》

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语

下列术语适用于本规范。

3.1 半自动生化分析仪 semiautomatic clinical chemistry analyzer

半自动生化分析仪，指分析过程中的一部分操作需要人工完成而另一部分操作则由分析仪自动完成的生化分析仪。

3.2 吸光度 absorbance

透射率倒数的常用对数值。

注：透射光强度与入射光强度的比值为透射率。

4 概述

半自动生化分析仪(以下简称分析仪)根据被测物质在紫外、可见光区产生的特征吸收光谱遵从郎伯-比尔定律的原理，用未知浓度的样品与已知浓度的标准物质进行比较或根据化合物的摩尔吸收系数对被测物质进行定量分析的仪器。郎伯-比尔定律的表达式如下：

$$A = -\lg(I/I_0) = -\lg T = klc$$

式中：

A ——物质的吸光度；

I_0 ——入射光强度；

I ——透射光强度；

T ——物质的透射率；

k ——物质的摩尔吸光系数， $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ ；

l ——光程，cm；

c ——物质的浓度，mol/L。

分析仪主要由光源、单色器、吸收池、检测器、数据处理等部分组成。分析仪类型按照分光原理的不同分为两类：第一类为分光式(棱镜或光栅)，第二类为滤光式(干涉滤光片或吸收滤光片)。

5 计量特性

分析仪的计量性能要求如表 1 所示。

表 1 分析仪计量性能要求

类	分光原理	稳定性	吸光度 标称值	吸光度 示值误 差	吸光度 重复性 /%	吸光度范 围	线性误差 /%	杂散 光	综合交 叉污染 率
一	棱镜式或 光栅式	0.005	0.5	± 0.03	≤ 0.3	0.2~0.5	± 5	吸光 度 ≥ 2	$\leq 2\%$
			1.0	± 0.07		0.5~1.0	± 4		
						1.0~1.8	± 2		
二	干涉滤光 片或吸收 滤光片式	0.005	0.5	± 0.04		0.2~0.5	± 5		
			1.0	± 0.08		0.5~1.0	± 4		
						1.0~1.8	± 2		

指标范围要求仅供参考，不作为合格与否的判据。

6 校准条件

6.1 环境条件

温度：15℃~30℃

相对湿度：15%RH~80%RH

其他：无强光直射，无震动及电磁干扰。

注：上述条件与制造商的产品规定不一致时，以产品规定为准。

6.2 标准物质

6.2.1 生化分析仪校准用标准物质（吸光度标准溶液）：在 340 nm 波长条件下吸光度标称值 0.5 和 1.0， $U \leq 0.003$ ， $k=2$ 。

6.2.2 生化分析仪校准用标准物质（线性标准溶液）：在 500 nm~520 nm 波长条件

下至少 5 个吸光度水平，且在吸光度（0.2~1.8）范围内均匀覆盖， $U_r \leq 3\%$ ， $k=2$ 。

6.2.3 亚硝酸钠溶液标准物质（生化分析仪校准用杂散光标准溶液）：标称值 50 g/L， $U_r \leq 3\%$ ， $k=2$ 。

注：应该使用经国家计量行政主管部门批准颁布的标准物质。

6.3 蒸馏水或去离子水。

7 校准项目和校准方法

7.1 外观

分析仪应有下列标志：名称、型号、编号、制造厂名、出厂日期。

7.2 稳定性

分析仪开机并预热 30 min 后，用蒸馏水将分析仪吸光度调至 0.000 处，测量并记录仪器的初始示值，5 min 后记录仪器示值一次、10 min 后再次记录仪器示值，取后两次吸光度示值与初始值差值绝对值最大者计算稳定性 r ， r 值按公式(1)计算：

$$r = A_{\text{最大}} - A_{\text{初始}} \quad (1)$$

式中：

$A_{\text{最大}}$ ——仪器在 5 min 后和 10 min 后吸光度示值与初始值差值绝对值最大者；

$A_{\text{初始}}$ ——仪器吸光度初始值。

若两次差值绝对值相等且一正一负，则应按时间点分别记录并报告稳定性。

7.3 杂散光

以蒸馏水为参比，在 340 nm 波长处测量亚硝酸钠溶液标准物质（生化分析仪校准用杂散光标准溶液）的吸光度。

7.4 吸光度示值误差

以蒸馏水为参比，校正分析仪吸光度的零点后，使用吸光度标称值 0.5 的半自动生化分析仪校准用标准物质（吸光度标准溶液），在波长 340 nm 条件下、使用待测标准物质冲洗吸收池三次，选用终点法测量吸光度值，标称值 0.5 的标准物质分别连续测量 3 次，记录仪器吸光度示值 A_i ，并计算算术平均值 \bar{A} ， \bar{A} 与标准值 A_s 之差则为吸光度 0.5 处的示值误差 ΔA ， ΔA 按公式(2)计算：

$$\Delta A = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 A_i - A_s \quad (2)$$

式中：

A_i ——第 i 次仪器测量的吸光度值；

A_s ——吸光度标准值。

按照以上方法校准吸光度 1.0 处的示值误差。

7.5 吸光度重复性

以蒸馏水为参比，用吸光度标称值 1.0 的半自动生化分析仪校准用标准物质（吸光度标准溶液）在分析仪上 340 nm 处连续测量 7 次，其重复性（ RSD ）按公式(3)计算：

$$RSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \times \frac{1}{\bar{x}} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

x_i ——第 i 次仪器测量值；

\bar{x} —— n 次仪器测量值的平均值；

n ——仪器测量次数，此处 $n=7$ 。

7.6 线性误差

以蒸馏水为参比，在 (500~520) nm 波长范围内选取合适波长，分别测量半自动生化分析仪校准用标准物质（线性标准溶液）的吸光度值，至少 5 个吸光度水平，各水平标准物质连续测量 3 次，计算 3 次测量结果的平均值，与半自动生化分析仪校准用标准物质（线性标准溶液）吸光度标准值进行最小二乘法拟合得到仪器的线性方程，见公式(4)。

$$\bar{A} = a + bA_s \quad (4)$$

式中：

\bar{A} ——半自动生化分析仪校准用标准物质（线性标准溶液）吸光度测量值的平均值；

a ——截距，计算公式见附录 B；

b ——斜率，计算公式见附录 B；

A_s ——半自动生化分析仪校准用标准物质（线性标准溶液）吸光度标准值。

按照公式(5)计算各水平半自动生化分析仪校准用标准物质（线性标准溶液）吸光度值按线性方程的拟合值。按照公式(6)计算不同吸光度水平下的线性误差，报告绝对值最大的线性误差。若出现绝对值相等且一正一负，则应按吸光度水平分别记录并报告。

$$K_i = \frac{\bar{A}_i - a}{b} \quad (5)$$

$$\Delta A_i = (K_i - A_{si}) / A_{si} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

ΔA_i ——第 i 个吸光度水平下的线性误差；

K_i ——第 i 个吸光度水平下线性方程拟合值；

\bar{A}_i ——第 i 个吸光度水平下 3 次吸光度仪器测量结果的平均值；

A_{si} ——第 i 个吸光度水平下吸光度标准值。

7.7 携带污染率

采用最低与最高吸光度水平的半自动生化分析仪校准用标准物质（线性标准溶液），在（500 nm～520 nm）波长范围内选取合适波长，按照各台分析仪规定的最小样品量，先用最低水平的半自动生化分析仪校准用标准物质（线性标准溶液）对吸收池冲洗 3 次，然后连续测量 4 次，接着对最高水平的半自动生化分析仪校准用标准物质（线性标准溶液）连续测量 4 次，然后再对最低水平的半自动生化分析仪校准用标准物质（线性标准溶液）连续测量 4 次，得到 3 组测量值。用前两组数据按公式（7）计算得到一个从低浓度到高浓度的携带污染率计算值 ΔC_{LH} ；用后两组数据按公式（8）计算得到一个从高浓度到低浓度的携带污染率计算值 ΔC_{HL} ，取两者最大值作为携带污染率，若计算值小于 0，则按 0 报告。

$$\Delta C_{LH} = \frac{(y_2 + y_3 + y_4) / 3 - y_1}{(y_2 + y_3 + y_4) / 3 - (x_2 + x_3 + x_4) / 3} \times 100\% \quad (7)$$

$$\Delta C_{HL} = \frac{z_1 - (z_2 + z_3 + z_4) / 3}{(y_2 + y_3 + y_4) / 3 - (z_2 + z_3 + z_4) / 3} \times 100\% \quad (8)$$

式中：

x_1, x_2, x_3, x_4 ——第一组的第 1 次到第 4 次测量值；

y_1, y_2, y_3, y_4 ——第二组的第 1 次到第 4 次测量值；

z_1, z_2, z_3, z_4 ——第三组的第 1 次到第 4 次测量值。

8 校准结果表达

经校准后的分析仪应填发校准证书，校准证书应符合 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》中 5.12 的要求，并给出各校准项目名称和测量结果以及扩展不确定度。

校准原始记录格式见附录 A。

分析仪校准不确定度按 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》的要求评定，示值误差的不确定度评定示例见附录 C。线性误差的不确定度评定示例见附录 D。

9 复校时间间隔

分析仪的复校时间间隔，根据实际使用情况由送校单位自主决定，建议不超过 1 年。

全国生物计量技术委员会

附录 A

校准原始记录（推荐）格式

仪器名称		室温/℃	
仪器型号		湿度/%	
制造厂名		校准员	
出厂编号		核验员	
送检单位		记录编号	
联系人及电话		校准日期	

1. 仪器外观：

2. 稳定性：_____

	$A_{\text{初始}}$	$A_{\text{最大}}$
$r = A_{\text{最大}} - A_{\text{初始}}$		

3. 杂散光：_____

4. 吸光度示值误差：

吸光度标 称值	A_s	A_i			\bar{A}_i	ΔA
		1	2	3		
0.5						
1.0						

5. 吸光度重复性：

n	1	2	3	4	5	6	7	R_A
A_i								

6. 线性误差:

	A_{si}	A_i			K_i	ΔA_i
		1	2	3		
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

7. 携带污染率:

吸光度	测量值			
	1	2	3	4
低				
高				
低				

 $\Delta C_{LH} = \underline{\hspace{2cm}}$ $\Delta C_{HL} = \underline{\hspace{2cm}}$

附录 B

线性回归中斜率与截距的计算

B.1 线性方程:
$$\bar{A}_i = a + bA_{si}$$

B.2 斜率 b :
$$b = \frac{S_{A_{si}\bar{A}_i}}{S_{A_{si}A_{si}}}$$

B.3 斜率 a :
$$a = \bar{A}_i - b\bar{A}_{si}$$

其中:
$$S_{A_{si}\bar{A}_i} = \sum A_{si}\bar{A}_i - \frac{\sum A_{si}\sum \bar{A}_i}{n}$$

$$S_{A_{si}A_{si}} = \sum A_{si}^2 - \frac{(\sum A_{si})^2}{n}$$

式中:

\bar{A}_i ——第 i 个吸光度水平下 3 次吸光度仪器测得值的平均值;

A_{si} ——第 i 个吸光度水平下吸光度标准值;

n ——回归直线点数。

附录 C

吸光度示值误差校准不确定度评定示例

C.1 测量模型：

$$\Delta A = \bar{A} - A_s \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔA ——吸光度示值误差；

\bar{A} ——半自动生化分析仪校准用标准物质（吸光度标准溶液）吸光度值的 3 次仪器测得值平均值；

A_s ——半自动生化分析仪校准用标准物质（吸光度标准溶液）的标准值。

C.2 合成标准不确定度计算：

合成标准不确定度可按下式计算：

$$u_c(\Delta A) = \sqrt{\left[\frac{\partial(\Delta A)}{\partial(\bar{A})}\right]^2 u^2(\bar{A}) + \left[\frac{\partial(\Delta A)}{\partial(A_s)}\right]^2 u^2(A_s)} \quad (\text{C.2})$$

$$u_c(\Delta A) = \sqrt{u^2(\bar{A}) + u^2(A_s)} \quad (\text{C.3})$$

C.3 标准不确定度分量计算：

C.3.1 测量结果平均值引入的不确定度分量 $u(\bar{A})$ C.3.1.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_{rep}

对一台半自动生化分析仪，连续测量 10 次半自动生化分析仪校准用标准物质（吸光度标准溶液），得到一组测量数据：0.988, 0.982, 0.985, 0.983, 0.987, 0.981, 0.986, 0.983, 0.986, 0.987。则单次测量结果的实验标准偏差为：

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \approx 0.0024 \quad (\text{C.4})$$

实际校准时在当前重复性条件下连续测量 3 次，以 3 次测量的算术平均价值作为结果，则由测量重复性引入的标准不确定度分量为：

$$u_{\text{rep}} = s(x_i) / \sqrt{n} = 0.0024 / \sqrt{3} = 0.0014 \quad (\text{C.5})$$

C.3.1.2 仪器分辨力引入的标准不确定度分量 u_s

仪器分辨力引入的不确定度根据 (C.6) 计算：

$$u_s = \frac{0.001}{2\sqrt{3}} = 0.00029 \quad (\text{C.6})$$

因此，测量结果平均值的不确定度为测量重复性引入的不确定度分量和仪器分辨力引入的不确定度分量的合成，按（C.7）计算：

$$u(\bar{A}) = \sqrt{u_s^2 + u_{rep}^2} = \sqrt{0.00029^2 + 0.0014^2} = 0.0015 \quad (\text{C.7})$$

C.3.2 标准物质引入的标准不确定度分量 $u(A_s)$

由标准物质引入的标准不确定度分量可按下式计算：

$$u(A_s) = \frac{U_{A_s}}{k_{A_s}} \quad (\text{C.8})$$

式中：

$u(A_s)$ ——半自动生化分析仪校准用标准物质（吸光度标准溶液）引入的标准不确定度；

U_{A_s} ——半自动生化分析仪校准用标准物质（吸光度标准溶液）证书提供的扩展不确定度；

k_{A_s} ——半自动生化分析仪校准用标准物质（吸光度标准溶液）证书提供的包含因子，通常为 2。

在校准过程中所使用的标准物质的标准值为 1.009 ± 0.003 ($k=2$)，则由标准物质引入的标准不确定度分量为：

$$u(A_s) = \frac{U_{A_s}}{k_{A_s}} = \frac{0.003}{2} = 0.0015 \quad (\text{C.9})$$

C.4 标准不确定度分量一览表

标准不确定度分量一览表见表 C.1。

表 C.1 标准不确定度分量一览表

来源		标准不确定度		灵敏系数
测量重复性	测量结果平均值	$u_{rep} = 0.0014$	$u(\bar{A}) = 0.0015$	1
仪器分辨力		$u_s = 0.00029$		
标准物质		$u(A_s) = 0.0015$		-1

C.5 合成标准不确定度 $u_c(\Delta A)$

由式 (C.3) 可得:

$$u_c(\Delta A) = \sqrt{u^2(\bar{A}) + u^2(A_s)} = 0.0022 \quad (\text{C.10})$$

C.6 扩展不确定度 U

取 $k=2$, 则 $U = k \times u_c(\Delta A) = 0.005$

附录 D

线性误差校准不确定度评定示例

D.1 测量模型:

$$\Delta A_i = (K_i - A_{Si}) / A_{Si} \times 100\% \quad (\text{D.1})$$

$$\Delta A_i = \left(\frac{\bar{A}_i - a}{bA_{Si}} - 1 \right) \times 100\% \quad (\text{D.2})$$

式中:

ΔA_i ——第 i 个吸光度水平下的线性误差;

K_i ——第 i 个吸光度水平下线性方程拟合值;

\bar{A}_i ——第 i 个吸光度水平下 3 次吸光度仪器测得值的平均值;

A_{Si} ——第 i 个吸光度水平下吸光度标准值;

a ——截距, 计算公式见附录 B;

b ——斜率, 计算公式见附录 B。

D.2 合成标准不确定度计算:

合成标准不确定度可按下式计算:

$$u_c(\Delta A_i) = \sqrt{\left[\frac{\partial(\Delta A_i)}{\partial(\bar{A}_i)} \right]^2 u^2(\bar{A}_i) + \left[\frac{\partial(\Delta A_i)}{\partial(A_{Si})} \right]^2 u^2(A_{Si}) + \left[\frac{\partial(\Delta A_i)}{\partial(a)} \right]^2 u^2(a) + \left[\frac{\partial(\Delta A_i)}{\partial(b)} \right]^2 u^2(b)} \quad (\text{D.3})$$

$$u_c(\Delta A_i) = \sqrt{\left[\frac{1}{bA_{Si}} \right]^2 u^2(\bar{A}_i) + \left[-\frac{(\bar{A}_i - a)}{bA_{Si}^2} \right]^2 u^2(A_{Si}) + \left[-\frac{1}{bA_{Si}} \right]^2 u^2(a) + \left[-\frac{(\bar{A}_i - a)}{b^2 A_{Si}} \right]^2 u^2(b)} \quad (\text{D.4})$$

D.3 标准不确定度分量计算 (以 $A_S = 0.333$ 为例):D.3.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(\bar{A}_i)$

对一台半自动生化分析仪, 连续测量 10 次半自动生化分析仪校准用标准物质 (线性标准溶液), 得到一组测量数据: 0.335, 0.337, 0.337, 0.335, 0.336, 0.335, 0.335, 0.336, 0.335, 0.337。则单次测量结果的实验标准偏差为:

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \approx 0.0009 \quad (\text{D.5})$$

实际校准时在当前重复性条件下连续测量 3 次，以 3 次测量的算术平均价值作为结果，则由测量重复性引入的标准不确定度分量为：

$$u(\bar{A}) = s(x_i) / \sqrt{3} = 0.0005 \quad (\text{D.6})$$

D.3.2 标准物质引入的标准不确定度分量 $u(A_s)$

由标准物质引入的标准不确定度分量可按下式计算：

$$u(A_s) = \frac{U_{A_s}}{k_{A_s}} \quad (\text{C.7})$$

式中：

$u(A_s)$ ——半自动生化分析仪校准用标准物质（线性标准溶液）引入的标准不确定度；

U_{A_s} ——半自动生化分析仪校准用标准物质（线性标准溶液）证书提供的扩展不确定度；

k_{A_s} ——半自动生化分析仪校准用标准物质（线性标准溶液）证书提供的包含因子，通常为 2。

在校准过程中所使用的标准物质的标准值为 0.333 ± 0.004 ($k=2$)，则由标准物质引入的标准不确定度分量为：

$$u(A_s) = \frac{U_{A_s}}{k_{A_s}} = \frac{0.004}{2} = 0.002 \quad (\text{D.8})$$

D.3.3 a 、 b 引入的标准不确定度分量 $u(a)$ 和 $u(b)$

a 、 b 引入的标准不确定度分量 $u(a)$ 和 $u(b)$ 可按下式计算：

$$u(a) = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y'_i)^2}{N-2}} \times \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{\bar{x}^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}} \quad (\text{D.9})$$

$$u(b) = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y'_i)^2}{N-2}} \frac{1}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2}} \quad (\text{D.10})$$

式中：

a ——拟合线性方程的截距；

b ——拟合线性方程的斜率；

x_i ——拟合线性方程中半自动生化分析仪校准用标准物质（线性标准溶液）第*i*个水平的吸光度标准值；

\bar{x} ——拟合线性方程中所有水平半自动生化分析仪校准用标准物质（线性标准溶液）吸光度标准值的平均值；

y_i ——拟合线性方程中半自动生化分析仪校准用标准物质（线性标准溶液）第*i*个水平的吸光度仪器检测值；

y'_i ——拟合线性方程中半自动生化分析仪校准用标准物质（线性标准溶液）第*i*个水平的线性方程拟合值；

N ——拟合线性方程中测量点数目与重复测量次数的乘积。

根据表 D.1 中线性误差校准数据，按公式 (D.9) 和公式 (D.10) 计算得到：

$$u(a) = 0.0034, u(b) = 0.0032。$$

表 D.1 线性误差校准数据

吸光度标准值	0.333	0.669	0.985	1.315	1.837
吸光度测量值平均值	0.336	0.675	0.993	1.322	1.843
拟合结果	$a=0.0043$ $b=1.0017$				
吸光度拟合值	0.331	0.670	0.987	1.316	1.836
线性误差	-0.5%	0.1%	0.2%	0.1%	-0.1%

D.4 标准不确定度分量一览表（以 $A_s = 0.333$ 为例）

标准不确定度分量一览表见表 D.2。

表 D.2 标准不确定度分量一览表

来源	标准不确定度	灵敏系数
测量重复性	$u(\bar{A}) = 0.0005$	2.998
标准物质	$u(A_s) = 0.002$	-2.987
a	$u(a) = 0.0034$	-2.998
b	$u(b) = 0.0032$	-0.993

D.5 合成标准不确定度 $u_c(\Delta A)$

由式 (D.4) 可得:

$$u_c(\Delta A_i) = \sqrt{\left[\frac{1}{bA_{si}}\right]^2 u^2(\bar{A}_i) + \left[-\frac{(\bar{A}_i - a)}{bA_{si}^2}\right]^2 u^2(A_{si}) + \left[-\frac{1}{bA_{si}}\right]^2 u^2(a) + \left[-\frac{(\bar{A}_i - a)}{b^2 A_{si}}\right]^2 u^2(b)} = 3.7\% \quad (\text{D.11})$$

D.6 扩展不确定度 U

取 $k=2$, 则 $U = k \times u_c(\Delta A_i) = 7.4\%$