

测定温度的转化糖方法及其在景观生态学研究中的应用

江 源

(北京师范大学资源科学研究所, 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要:通过理论分析、室内实验和野外实测对测定温度的转化糖方法进行了深入研究, 获得如下结论: ①该方法的测定结果能有效地反映小尺度景观单元中和各种群落内部的平均温度特征; ②调整样品 pH 值, 能使转化糖方法适用于多种研究地区和多种观测时段; ③该方法能够方便而经济地实现在大量不同景观部位和不同群落类型中实现同步测定, 也能在难以设置仪器的条件中进行测定; ④转化糖方法所测之“效应温度”直接反映了温度对反应过程的作用程度, 因而对生态过程与温度之间关系的研究具有特殊意义。

关键词:转化糖; 温度测定; 景观生态

Sugar-inversion method for measuring temperature and its application to landscape ecology research

JIANG Yuan (Institute of Resource Sciences, Beijing Normal University; Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, the Ministry of Education of China, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Based on the chemical theory, lab. experiment and field study, the suitability of the sugar-inversion method for measuring temperature to landscape ecology research has been analyzed. The results show: 1) The spatial variation of temperature in micro-scale landscape elements and in different vegetation types can be effectively measured by means of sugar-inversion method; 2) Through adjusting the pH-level of the sugar solution this method can be applied to field research in various regions and periods; 3) Supported by this method, a simultaneous temperature measurement at a large number of habitats with different landscape elements and different vegetation types, even in the areas where it is difficult to install the measure apparatus, can be simply and economically realized; and 4) The “effective temperature” measured by sugar-inversion method has a significant meaning for the study on the relationship between the ecological process and the temperature factor, for this method reflects directly the effects of temperature on the chemical process.

Key words: sugar-inversion method; temperature measurement; landscape ecology

文章编号: 1000-0933(2001)01-0028-06 中图分类号: Q149 文献标识码: A

长期以来标准气象台站的观测结果对全球和区域尺度的生态学研究提供了可靠的数据支持。但在景观尺度上的生态学研究, 特别是与下垫面性质有关的热量问题研究方面, 气象台站提供的数据支持常常不

基金项目: 国家自然科学基金(40071002)、国家自然科学基金重大项目(39899374)和留学回国人员科研启动基金共同资助

联邦德国卡尔斯鲁厄大学(Universität Karlsruhe)地生态学研究 M. Meurer 教授提供了全部实验设备和野外工作条件; R. Reith 女士在实验和野外工作中给予了很多帮助; 北京师范大学资源与环境科学系梁进社教授提出了有意义的建议, 在此一并致谢。

收稿日期: 1998-12-08; 修订日期: 1999-06-10

作者简介: 江源(1966—), 女, 西安人, 博士, 副教授。主要从事景观生态学和植被生态学研究。

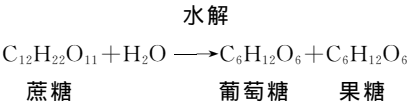
万方数据

足,经常出现整个研究区域内缺失气象台站的状况。为获取第一手资料,虽能通过设立临时站点进行观测,但由于资金和人力等条件的限制,难于从足够多的研究点上获得观测数据^[1,2]。此外,对某些研究对象如土壤、水体等,还存在着仪器设置的困难。针对上述问题,本文在前人研究的基础上^[3],通过理论分析、室内实验和野外实测,探讨转化糖方法在温度测定中的作用和意义,为景观生态学研究中深入进行温度与生态过程相互影响的分析,提供一种测定温度场特征的有效方法。

1 测定原理与方法

1.1 测定原理

转化糖方法是一种以蔗糖在酸性溶液中水解成葡萄糖和果糖反应为基础的温度测定方法。反应过程如下:



这一反应过程被称为转化过程,葡萄糖和果糖被称为转化糖,所以将以该反应为基础的温度测定方法称为“转化糖方法”。

蔗糖和葡萄糖具右旋光性,而果糖具强左旋光性。由于果糖的强左旋光性,使转化糖溶液呈左旋光性,可见蔗糖的水解伴随着旋光变化。蔗糖的转化速度与温度和 H^+ 浓度均具有正相关关系,可表达为:

$$\frac{dx}{dt} = k_T \cdot H(A - x)$$

(1)

式中 k_T 为 T 温度(绝对温度)下的转化速度常数, H 为溶液的 H^+ 浓度, t 为反应时间, A 为反应时间 $t=0$ 时的蔗糖数量, x 为经过 t 时间反应后被转化的蔗糖数量。

当温度和溶液中的 H^+ 浓度为常数时,对式(1)进行积分,并用溶液旋光度的变化表达蔗糖的转化程度^[3,4],平均速度常数可被表达为:

$$\bar{k}_T = \frac{1}{H \cdot t} \log \frac{R_0 - R_\infty}{R_t - R_\infty}$$

(2)

式中 R_0 和 R_∞ 分别为 $t=0$ 和 $t=\infty$ 时转化糖溶液的旋光度,可称为始旋光度和终旋光度, R_t 为经过 t 时间转化后转化糖溶液的旋光度。

1940 年瑞士学者 PALLMANN 等首次进行实验^[3],在溶液 pH 值为 2.90 的条件下测定了温度与蔗糖水解速度的关系,证明转化速度常数的对数 $\log k_T$ 与温度 T (绝对温度)明显相关,为利用转化糖方法测定温度提供了可靠的理论和实验基础。

1.2 扩展应用探讨

从式(2)和 PALLMANN 实验结论可知,当确定了转化糖溶液的始、终旋光度和经 t 时间转化后转化糖溶液的旋光度,便可获得与相应时段内平均速度常数相对应的温度值。

然而,PALLMANN 在实验中将蔗糖溶液的 pH 值控制为 2.90,这种溶液的反应速度较慢,适用于在日平均气温 20℃左右的地区持续约 0.5~2 个月的观测^[3~5]。当需要进行较长时间的观测,如对整个生长季、或需要在更为温暖或寒冷的地区、或在冬季进行研究时,往往需要 pH 值更高或更低的溶液,以延缓或加速其反应速度。因而,要使转化糖方法在研究中有更广泛的适应性,必须使 PALLMANN 的实验结果扩展到适用于多种 pH 值溶液的测定,并通过实地应用确定该方法在景观尺度上对温度特征的表达能力。

为了便于讨论 PALLMANN 实验结果的扩展应用问题,可以将式(2)代入阿累尼乌斯(S. A. ARRHENIUS)方程:

$$k_T = Ce^{-\frac{a}{T}}$$

(3)

式中 C 和 a 为与温度无关的常数, T 为绝对温度。经整理并利用 PALLMANN 实验数据计算得:

万方数据

$$\frac{a'}{C' - \log k_T} = \frac{5859.1389}{20.2051 - \text{pH} + \log t - \log[\log(\frac{R_0 - R_\infty}{R_t - R_\infty})]}$$

(4)

式中 $\text{pH}=2.90$ 。

1.3 实验分析

为了证明式(4)是否能够用于计算不同 pH 值条件下转化糖方法的测定结果,配制了具有多种 pH 值的测定溶液,在控制温度分别为 25℃和 33℃的恒温条件下,分析 pH 值与速度常数 k_T 的关系。结果表明(图 1),在 25℃和 33℃的条件下,pH 值每增加 1 个单位, $\log k_T$ 分别下降 1.011 和 1.005 个单位,二者之间呈明显线性负相关($r_{25}=-0.9985;r_{33}=-0.9950$)。根据这一结果,如果测定溶液 pH 值相对与 2.90 发生变化,式(4)中的 $\log k_T$ 也有相应变化,且 $\log k_T$ 的增量 $\Delta \log k_T \cong \Delta \text{pH} = \text{pH} - 2.90$ 。因此,当 pH 值变化,应在式(4)的应用中考虑反应速度常数的变化,即:

$$T = \frac{a'}{C' - (\log k_T + \Delta \text{pH})} = \frac{5859.1389}{20.2051 - \text{pH} + \log t - \log \left[\log \left(\frac{R_0 - R_\infty}{R_t - R_\infty} \right) \right]}$$

(5)

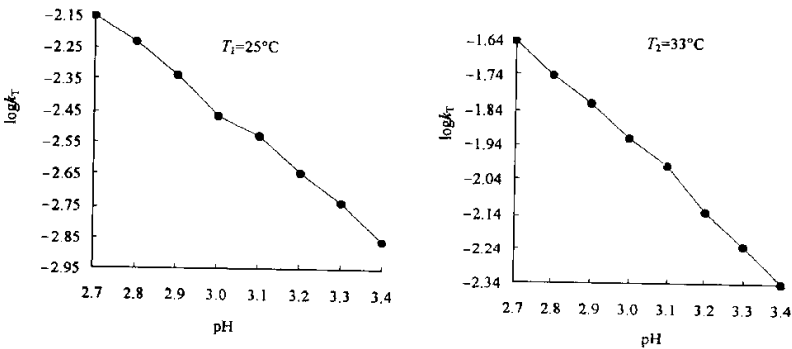


图 1 恒温条件下 pH 值与 $\log k_T$ 的关系($T_1=25\text{ }^{\circ}\text{C};T_2=33\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Fig. 1 Relationship between the pH-level and $\log k_T$ under the constant temperatures($T_1=25\text{ }^{\circ}\text{C};T_2=33\text{ }^{\circ}\text{C}$)

不难看出,(5)与(4)相比在形式上没有改变,但式中的 pH 值不再为 2.90,而是当前测定溶液的 pH 值。可见,由于 $\Delta \log k_T \cong \Delta \text{pH}$, (5)可被用于计算不同 pH 值测定溶液的测定结果。根据不同 pH 值溶液的测定数据,利用式(5)计算温度 T 。将测定值与控制温度 25℃和 33℃进行比较,结果表明,转化糖方法测得的温度平均值为 25.0℃和 33.0℃,平均离差分别为 0.16 和 0.18,最大误差不超过 $\pm 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (表 1)。与普通温度自记仪的最大误差范围 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 相比,来自不同 pH 值转化糖溶液的温度测定结果,对于景观生态学问题的研究而言当是完全可以接受的。

表 1 不同 pH 条件下转化糖方法温度测定值与控制温度值的比较

Table 1 Comparison of the measuring temperature resulted from the sugar-inversion method in different pH conditions with the regulated temperature

pH	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4
$T_{25}^*(\text{ }^{\circ}\text{C})$	24.90	25.18	25.11	24.68	25.24	25.01	25.11	24.78
$T_{33}^*(\text{ }^{\circ}\text{C})$	32.86	32.72	33.05	33.11	33.35	32.93	32.95	32.81
$T_{25}-25(\text{ }^{\circ}\text{C})$	-0.10	0.18	0.11	-0.32	0.24	0.01	0.11	-0.22
$T_{33}-33(\text{ }^{\circ}\text{C})$	-0.14	-0.28	0.05	0.11	0.35	-0.07	-0.05	-0.19

* : T_{25} 和 T_{33} :分别为控制温度 25℃和 33℃条件下转化糖方法测得的数值。 T_{25} & T_{33} :the values measured by means of the sugar-inversion method at regulated temperature 25℃ and 33℃ respectively

2 测定结果

2.1 野外应用

为探讨转化糖方法在景观生态学野外研究中的应用效果,在不同地形部位和不同森林群落类型中选取了 113 个测点,用转化糖方法对距地面 50cm 处的温度特征进行测定。与此同时设置了 3 个野外气候观测百叶箱,安装自动温度记录仪,在距地面 50cm 处同步进行观测。转化糖样品的观测结果及其观测点的有关特征如表 2 所示。

表 2 转化糖样品野外温度测定结果
Table 2 The measuring temperature resulted from the sugar-inversion method in a field research

编号 No.	测值(℃) Measure value	测定期(d) Measure period	测点特征* Feature of the measure spot *	编号 No.	测值(℃) Measure value	测定期(d) Measure period	测点特征* Feature of the measure spot *
1	16.0	150	NE,La	58	16.5	152	SE,La
2	17.2	150	NE,La	59	17.1	152	W,NaLa
3	16.6	150	NE,La	60	170.	152	NW,La
4	16.3	150	NE,La	61	17.1	152	NW,Na
5	16.6	150	NE,La	62	16.9	152	W,Na
6	16.7	150	NE,NaLa	63	17.9	152	NW,NaLa
7	16.5	150	N,La	64	17.3	152	NW,NaLa
8	16.7	150	N,La	65	18.3	152	W,La
9	17.8	150	W,La	66	17.9	152	NE,La
10	17.6	150	W,NaLa	67	18.2	152	W,La
11	17.5	150	NW,La	68	18.7	152	NW,NaLa
12	17.9	150	NW,La	69	18.6	155	Rue,La
13	17.3	150	SE,La	70	17.4	155	Rue,La
14	16.6	150	N,NaLa	71	18.0	155	NE,La
15	丢失 lost			72	16.4	155	NE,La
16	17.0	154	NW,La	73	16.5	155	NW,La
17	16.4	150	NE,Na	74	15.9	155	NE,La
18	17.1	150	NW,La	75	16.1	155	NW,Na
19	18.4	150	W,La	76	16.4	155	NE,La
20	18.9	150	W,NaLa	77	16.7	155	NE,NaLa
21	17.6	154	W,NaLa	78	16.9	155	N,La
22	16.7	150	W,La	79	15.7	155	NE,La
23	16.8	150	W,La	80	17.2	155	N,Na
24	丢失 lost			81	16.7	155	N,Na
25	丢失 lost			82	16.7	155	NW,La
26	17.6	150	W,La	83	18.5	155	SW,La
27	18.0	150	W,La	84	丢失 lost		
28	17.7	150	W,NaLa	85	17.1	155	NW,La
29	17.7	150	W,NaLa	86	18.3	155	NW,NaLa
30	17.0	150	W,La	87	18.3	155	N,La
31	17.6	150	W,NaLa	88	20.8	155	N,A
32	丢失 lost			89	18.5	155	N,Weg
33	20.9	150	SW,NaLa	90	18.0	155	NW,La
34	19.2	150	SW,La	91	17.6	155	NW,La
35	18.3	150	SW,NaLa	92	17.7	155	NW,La
36	17.4	150	SW,La	93	16.8	155	NW,Na
37	17.8	150	S,NaLa	94	丢失 lost		
38	16.7	150	N,NaLa	95	16.3	155	Aue,La
39	17.0	150	SW,La	96	16.8	155	Aue,La
40	16.8	150	S,NaLa	97	16.5	155	Aue,La
41	17.2	153	NE,NaLa	98	17.1	155	N,Weg
42	16.5	153	NE,La	99	16.9	155	N,La
43	16.9	156	NE,La	100	17.2	155	Aue,La
44	16.7	156	N,Ero	101	丢失 lost		
45	17.0	156	NE,Na	102	17.4	155	SW,La
46	17.0	153	N,NaLa	103	18.0	155	SW,La
47	17.7	153	NW,NaLa	104	18.4	155	SW,La
48	丢失 lost			105	18.0	155	SW,La
49	丢失 lost			106	17.9	155	Ku,NaLa
50	17.9	153	Rue,NaLa	107	17.5	155	SW,NaLa
51	丢失 lost			108	19.9	155	N,V
52	20.2	153	SW,V	109	17.0	155	S,La
53	丢失 lost			110	17.2	155	S,La
54	17.5	153	N,NaLa	111	17.2	155	SW,La
55	17.9	153	N,La	112	18.4	155	S,V
56	17.2	153	W,La	113	17.1	155	SW,La
57	17.9	153	W,NaLa				

* N:北坡 N exp. W:西坡 W exp. S:南坡 S exp. Ero:沟底 Valley bottom. La:阔叶林 Deciduous broad-leaved forest community. V:更新幼林 Young deciduous broad-leaved forest community.
NW:北偏西坡 NW exp. SW:南偏西坡 SW exp. Ku:山顶 Hill top. Weg:路旁 Roadside. NaLa:针阔叶混交林 Mixed evergreen-coniferous. S:常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest community.
NE:北偏东坡 NE exp. SE:南偏东坡 SE exp. Rue:山脊 Hill ridge. Aue:河谷 River bank. Na:常绿针叶林 Evergreen coniferous forest community. A:农田 Farm.

根据样品所在的景观部位和所在的森林植物群落类型,对样品进行归类并计算各类条件下样品测值的平均数(表 3、表 4)。所得数据表明,由于转化糖方法可以有目标地进行多点测定,与仪器测定相比,应用该方法有助于从以下几个方面对近地面层温度特征进行研究:第一,转化糖方法的测定结果对由坡向差别影响造成的林下温度差异反映明显,南坡的平均温度值明显高于北坡。从同期设置在南坡和北坡的温度自记仪测定的温度平均值的对比可以看出,这两种测定方法所获得的南、北坡温度均值虽然不同(详见本文 2.2 节),但差值非常相近。第二,不同坡位地段温度的差异,也能在转化糖方法的测定结果中得到清楚反映。由于冷空气常在夜间向坡底聚集,故在同一坡向条件下,坡面下段及沟谷底部的温度明显低于中、上段。第三,转化糖方法测定结果在对不同群落内温度特征的研究方面同样具有良好效果。表 4 中的结果说明,各类森林群落林下温度受其所处景观部位和林木郁闭度影响明显。然而,由于仪器数量有限,本研究无法将从转化糖测定中获得的第二、三类小气候研究结果与仪器观测数据进行对比。

转化糖方法测定点多,测定时间也远比许多小气候研究中常用的短期仪器观测长,因此,其测定结果更能反映多种生境条件或景观单元中温度特征的平均状况。

表 3 不同景观部位的转化糖方法测定值

Table 3 The measure values in different landscape positions by means of the sugar-inversion method					
坡向 Exposure	不同坡向、坡位转化糖方法测得的温度平均值(℃) Measure value in different positions by means of the sugar-inversion method(℃)				温度自记仪测值(℃) Measure values by means of the instrument(℃)
	下段 Lower part	中段 Middle part	上段 Upper part	平均值 Average	平均值 Average
北坡(包括西北、东北坡) N exp. (incl. NW & NE exp.)	16.4	17.2	17.6	17.1	14.7
南坡(包括西南、东南坡) S exp. (incl. SW & SE exp.)	17.6	18.1	18.0	17.9	15.4

表 4 不同森林群落类型中由转化糖方法测定的温度特征

Table 4 The measure value in various forest communities by means of the sugar-inversion method			
群落类型* Community type	平均值 Average(℃)	景观部位 Landscape position	郁闭度 Coverage
<i>Robinia pseudoacacia</i> 群落 <i>Robinia pseudoacacia</i> community	19.7	向阳陡坡 S exp. ;steep slope	0.6
群丛: <i>Carici-Fagetum</i> Ass.: <i>Carici-Fagetum</i>	18.3	向阳、半向阳中上部坡段 S,SE & SW exp. ;upper part of the slope	0.65
群丛: <i>Luzulo-Fagetum</i> Ass.: <i>Luzulo-Fagetum</i>	18.0	向阳、半向阳中下部坡段 S,SE & SW exp. ;upper-middle part of the slope	0.75
群丛: <i>Luzulo-Quercetum</i> Ass.: <i>Luzulo-Quercetum</i>	18.0	向阳、半向阳中部坡段、山脊、梁顶 S,SE & SW exp. ;middle part of the slope,ridge & top	0.8
群丛: <i>Galio-Carpinetum</i> Ass.: <i>Galio-Carpinetum</i>	18.0	向阳、半向阳中上部坡段 S,SE & SW exp. ;upper-middle part of the slope	0.8
群丛: <i>Stellario-Carpinetum</i> Ass.: <i>Stellario-Carpinetum</i>	17.3	向阳、半向阳下部坡段 S,SE & SW exp. ;lower-middle part of the slope	0.9
<i>Caltha palustris-Alnus glutionsa</i> 群落 <i>Caltha palustris-Alnus glutionsa</i> community	17.0	地面有积水的开敞河谷 Wet open river bank	0.6
群丛: <i>Alno-Fraxinetum</i> Ass.: <i>Alno-Fraxinetum</i>	17.0	地面无积水的开敞河谷 Dry open river bank	0.7
亚群丛: <i>Galio odorati-Fagetum typicum</i> Sub-Ass.: <i>Galio odorati-Fagetum typicum</i>	17.5	阴坡中上部坡段 N exp. ;upper-middle part of the slope	0.9
亚群丛: <i>Galio odorati-Fagetum circaetosum</i> Sub-Ass.: <i>Galio odorati-Fagetum circaetosum</i>	16.4	阴坡下部坡段 N exp. ;lower-middle part of the slope	0.95

* 植物群落特征来源于野外调查结果^[1]、分类根据 BRAUN-BLANQUET 方法^[6]Based on the data from a field study^[1], communities classified according to the BRAUN-BLANQUET's system^[6]

2.2 转化糖测定温度值与器测温度值的比较

在恒温条件下,转化糖方法的测定值与器测温度值相等(表 1)。但实地应用中,温度是随时间变化的,转化糖方法测定的平均值与器测温度平均值不相吻合(表 3),二者之间的关系如图 2 所示。设在时间 t_1 和 t_2 时的温度分别为 T_1 和 T_2 ,与该二温度值相对应的速度常数分别为 k_1 和 k_2 ,用转化糖方法可得时间区间 $[t_1, t_2]$ 内的速度常数均值 $k_T = (k_1 + k_2)/2$ 。如果 k_T 与 T 之间存在线性相关关系,则利用 k_T 计算出的温度值 $\bar{k}_T$ 与 T_1 和 T_2 的算术平均值 $\bar{T}$ 相等,即: $T_k^- = \bar{T} = (T_1 + T_2)/2$ 。然而,如图 2 所示, k_T 与 T 之间的关系为指数关系。理论上只有当 $\Delta t = t_2 - t_1$ 足够小,使 k_T 与 T 之间的关系近似直线关系时,才有 $T_k^- \cong \bar{T}$ 。但在实际测定中,为了获得不同景观单元中稳定的温度特征,测定时间至少应在一周以上,甚至更长。因此,根据 k_T 计算出的温度值 T_k^- 总会落在 T_1 和 T_2 的算术平均值 $\bar{T}$ 的右侧,即: $T_k^- > \bar{T}$,转化糖方法测定的温度值大于器测温度的算术平均值。表 4 中转化糖方法测值与器测平均温度之间的差别正是这种关系的体现。

3 应用展望

上述实验和应用结果表明,转化糖方法是一种测定温度的有效方法。应用该方法测得的温度值与化学反应速度相关,其数值反映着温度对化学或生化过程的作用强度。虽然转化糖方法测定的温度值高于器测平均温度值,但对于研究生态过程而言,转化糖方法测定的温度值与器测温度值相比,强调了温度条件对过程的作用效果。因而将转化糖方法测得的温度值视为“效应温度”更为合理,并可以此区别于器测温度值。此外,当研究者对复杂景观条件下的温度空间变化及其生态作用更感兴趣时,转化糖方法的意义将愈加突出。

与热量相关的生态学问题之研究涉及内容和区域非常广泛。在没有气象站点或难于进行仪器观测的地区,转化糖方法不仅在景观生态学领域中,而且在城市生态、群落生态、土地利用的区域热效应以及在土壤和水体生态系统等的研究领域中,为分析温度分布及其与各类生态过程的相互关系提供了一种有效方法。该方法一方面可以通过大量布点,经济而方便地获取复杂下垫面条件下的“效应温度”数据,另一方面可以通过在某一时间段内的连续观测,避免偶然因素的影响。如果在测定中利用有限的观测仪器,进行同步观测,将有助于理解“效应温度”与器测温度之间的关系,为其数值订正提供有意义的数据基础。

溶液 pH 值范围扩展后的转化糖温度测定方法,具有更为广泛的适应性。通过调节 pH 值控制反应速度,可使转化糖方法适应于背景条件不同的多种研究区域,或针对某种问题和过程选择最佳研究时间段,以获取有意义的生态学研究结果。

参考文献

[1] Jiang Y. *Kleinräumliche Variation der Vegetation und ihrer Standortbedingungen im Pfannwald und in Teilgebieten des Streitwaldes/Kraichgau* Karlsruhe;Karlsruher Schriften zur Geographie und Geoökologie,1995. 7~37.
[2] Sukopp H. & R. Wittig. *Stadtökologie* Stuttgart;Fischer,1993. 113~170.
[3] Pallmann H.,Eichenberger,E. & Hasler. A. Eine neue Methode der Temperaturmessung bei ökologischen oder bodenkundlichen Untersuchungen. *Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft*,1940,(50):337~362.
[4] 汪晓兰. 有机化学. 北京:高等教育出版社,1988. 19~76
[5] Lee R. Chemical Temperature Integration. *Journal of Applied Meteorology*,1969,(8):423~430.
[6] Dierschke H. *Pflanzensoziologie*. Stuttgart;Ulmer,1994. 202~345.

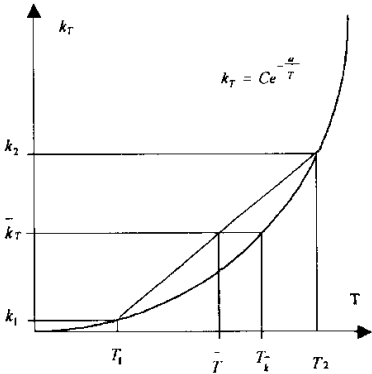


图 2 转化糖测值特征分析

Fig. 2 The characteristics of measuring temperature with sugar-inversion method