

目 录

第1章 酶的基础知识	(1)
1.1 酶是什么.....	(1)
1.2 酶的组成、作用和特性.....	(2)
1.3 为什么使用酶.....	(4)
1.4 酶的分类.....	(6)
1.5 酶的活性.....	(7)
第2章 洗涤剂酶	(8)
2.1 洗涤剂酶的定义.....	(8)
2.2 洗涤剂酶的发展历史和展望.....	(9)
2.3 洗涤剂酶制剂的生产.....	(14)
2.3.1 发酵和回收.....	(14)
2.3.2 颗粒制备和其他固形物制备方法.....	(15)
2.4 洗涤剂酶的活力.....	(18)
2.5 洗涤剂酶的性能.....	(18)
第3章 诺和诺德洗涤剂酶	(19)
3.1 概述.....	(19)
3.2 诺和诺德洗涤剂酶制剂的类型.....	(24)
3.2.1 T-颗粒酶制剂.....	(25)

3.2.2	L-液体酶制剂	(30)
3.3	诺和诺德T-混合酶	(32)
3.4	蛋白酶	(34)
3.4.1	蛋白酶——水解蛋白质的酶	(34)
3.4.2	洗涤剂中其他组分对蛋白酶性能的影响	(41)
3.4.3	诺和诺德蛋白酶产品说明	(41)
3.4.3.1	Alcalase®	(41)
3.4.3.2	Savinase®	(44)
3.4.3.3	Esperase®	(48)
3.4.3.4	Everlase™	(52)
3.5	淀粉酶	(56)
3.5.1	淀粉酶——水解淀粉的酶	(56)
3.5.2	洗涤剂中其他组分对淀粉酶性能的影响	(64)
3.5.3	诺和诺德淀粉酶产品说明	(64)
3.5.3.1	Termamyl®	(64)
3.5.3.2	Duramyl™	(68)
3.5.3.3	BAN	(72)
3.6	脂肪酶	(76)
3.6.1	脂肪酶——水解油脂的酶	(76)
3.6.2	洗涤剂中其他组分对脂肪酶性能的影响	(93)
3.6.3	诺和诺德脂肪酶产品说明	(93)
3.6.3.1	Lipolase™	(93)
3.6.3.2	Lipolase™ Ultra	(96)
3.6.3.3	LipoPrime®	(100)
3.7	纤维素酶	(103)
3.7.1	纤维素酶——水解纤维素的酶	(103)
3.7.2	洗涤剂中其他组分对纤维素酶性能的影响	(118)

3.7.3 诺和诺德纤维素酶产品说明	(118)
3.7.3.1 Celluzyme®	(118)
3.7.3.2 Carezyme®	(122)
第4章 洗涤剂酶的活力	(127)
4.1 酶活力的定义	(127)
4.2 酶活力的绝对值测定法	(128)
4.3 酶活力的相对值测定法	(129)
4.4 洗涤剂中酶活力的测定	(129)
4.5 洗涤剂中所含酶类型的鉴定	(129)
4.6 蛋白酶活力的测定	(130)
4.7 脂肪酶活力的测定	(131)
4.8 α -淀粉酶活力的测定	(133)
4.9 纤维素酶活力的测定	(135)
4.10 洗涤剂中酶活力的定量测定	(137)
4.11 酶活力测定的转换系数	(140)
4.12 洗涤剂酶活力和性能的关系	(141)
第5章 洗涤剂酶的性能评价	(146)
5.1 洗涤剂和洗涤剂酶的使用性能评价	(146)
5.1.1 去污力的测试和评价	(149)
5.1.2 酶的其他作用的评价	(158)
5.2 洗涤剂酶的储存稳定性	(161)
5.2.1 诺和诺德生产的各种洗涤剂酶制剂的 储存稳定性	(161)
5.2.2 洗涤剂中的酶的储存稳定性	(162)
第6章 洗涤剂酶的安全操作	(166)
6.1 过敏与刺激	(166)
6.1.1 酶的粉尘和气溶胶所引起的过敏	(166)

6.1.2	对皮肤、眼睛和呼吸道的刺激	(167)
6.2	酶产品供应中的安全注意事项	(168)
6.2.1	产品规格	(168)
6.2.2	物料安全数据表(MSDS)	(168)
6.2.3	酶产品的标签	(169)
6.2.4	有关酶的安全问题的文件	(169)
6.3	操作酶产品的注意事项	(170)
6.3.1	粉状和颗粒状酶产品	(170)
6.3.2	液体酶产品	(171)
6.4	配制洗涤剂时的注意事项	(172)
6.4.1	洗衣粉	(172)
6.4.2	液体洗涤剂	(172)
6.4.3	洗衣皂	(172)
6.5	加酶洗涤剂生产工厂的安全运作	(173)
6.5.1	工厂设计	(173)
6.5.2	工厂的操作和管理	(174)
6.5.3	酶制剂操作中所用的个人防护装备	(176)
6.5.4	有关员工的酶安全教育和培训	(178)
6.5.5	空气监测	(179)
6.5.6	接触酶的员工的医疗监测计划	(184)
6.6	酶在织物上的沉积	(187)
第7章	诺和诺德洗涤剂酶的应用	(189)
7.1	正确选择洗涤剂酶	(189)
7.2	洗涤剂酶在中国洗涤剂中的应用举例	(191)
7.2.1	蛋白酶在液体洗涤剂(衣领净)中的应用	(191)
7.2.2	蛋白酶在不同配方的洗衣粉中的应用	(192)
7.2.3	蛋白酶在合成洗衣皂中的应用	(193)

7.2.4	蛋白酶及复合酶在超普粉中的应用	(195)
7.2.5	淀粉酶应用举例	(195)
7.2.6	纤维素酶应用举例	(196)
7.3	酶在自动洗碗机洗涤剂中的应用	(197)
7.4	用于衣服洗涤剂的诺和诺德蛋白酶	(205)
7.5	酶在工业和公共场所洗衣中的应用	(213)
7.6	家用洗涤剂中的诺和诺德淀粉酶	(221)
7.7	Lipolase™在家用洗涤剂中的应用	(230)
7.8	Sav/Ter在家用洗涤剂中的应用	(237)
7.9	酶在内窥镜清洗用洗涤剂中的应用	(241)
7.10	衣用洗涤剂中的纤维素酶Celluzyme®	(245)
7.11	洗涤剂中的单一成分纤维素酶Carezyme®	(251)

第1章

酶的基础知识

1.1 酶是什么

酶是生物体中的活细胞产生的一种具有催化作用的物质,能加快化学反应的速率,并使反应以一定的顺序转换。因此,酶是一种生物催化剂。

酶的催化反应在有史以来就被人类所利用。如用于发酵制酒、造醋、制造饴糖等。按中国《五音集韵》称,酶“酒母也”;又《会韵》载,酶“通作媒”。这些记载都说明了酶在制造酒的发酵过程中的作用。在现代科学中,酶这一词已用来泛指所有的生物催化剂。

酶的化学本质是长期以来科学界所关心、探讨和争论的问题。随着科学技术的发展,结晶纯化的酶的获得和对其深入的研究,都证明酶的化学本质是蛋白质。如酶可以被水解蛋白质的蛋白酶所水解;酶受到加热处理时会失去催化活性;其他物理或化学因素对酶的影响与对其他蛋白质也都一样,凡能使蛋白质变性或沉淀的物理或化学因素均能使酶变性或沉淀。在其他理化性质

方面,如溶解性、两性解离性等方面,酶都和蛋白质相同。因此,酶是一种蛋白质。

酶催化反应中的反应物称为底物。

酶的分子结构也和蛋白质一样,具有一级、二级、三级和四级结构。也有少数酶具有催化活性,但无四级结构。关于蛋白质的结构,在本书第3章“蛋白酶——水解蛋白质的酶”一节中有进一步的介绍。

1.2 酶的组成、作用和特性

蛋白质按其组成可分为单纯蛋白质和结合蛋白质两大类。而酶也可以按其组成为单成分酶和双成分酶。单成分酶一般是仅由蛋白质分子组成;双成分酶的组成除蛋白质部分(称酶蛋白)外,还有非蛋白部分(称辅酶或辅基)。在双成分酶中,这两部分缺一不可,缺了就会丧失催化活性。双成分酶又称全酶。在这种酶中,如酶蛋白与非蛋白部分结合得比较牢固,不易用透析方法把它们分离的,这种非蛋白质部分称为辅基;反之,如果容易用透析把它们分开,这种非蛋白质部分称辅酶。辅酶能与不同的酶蛋白结合,形成不同的酶;这些不同的酶能催化同一类型的化学反应,但它们所能作用的底物则有所不同。

酶在生物体的新陈代谢中起着非常重要的作用。它参与生物体内大部分的化学反应,使反应有控制地、有秩序地进行,从而使新陈代谢持续进行下去。众所周知,催化作用是指能改变化学反应速度(主要在于加速反应)的过程。催化剂能缩短反应达到平衡点的时间,但不能改变平衡点,在反应过程中其本身不被消耗。酶的作用与一般催化剂的作用是相同的,但由于酶的化学本质是蛋白质,原来是在生物体内产生,并且在生物体内部使用的,故还有其特点。首先,酶能在温和的反应条件下,如常温、常压、近乎中

性(即使偏离中性也不很剧烈)的pH值等,发挥作用。其次,酶的催化效率要比一般的催化剂高得多。此外,一种酶仅作用于某一种物质或一类结构类似的物质并催化某种类型的反应。因此,酶有着很高的专一性(又称酶的特异性或选择性)。

酶的催化作用首先表征为酶分子与底物分子的结合。上面已经说过,酶分子在参与反应的过程中并不被消耗;在一个反应完成后立即恢复原状,又能继续下次反应。由于酶和底物的结合的专一性,如果底物分子结构稍有变化,酶就不能将它转变为产物。这样的结合模式一般称为“锁和钥匙”模式。按照这个模式,在酶蛋白分子的表面存在一个与底物分子结构互补的区域;互补的本质包括分子的大小、形状和电荷。如果底物分子的结构能与酶分子上的这个模板区域充分地互补,那么它就能与酶相结合。当底物分子上的敏感的键正确地定向到酶的催化部位时,底物就有可能转变为产物。但是,各种酶的催化反应并不能用一个统一的模式来说明,因为即使是催化相同的反应,不同的酶也可能有不同的催化机制。后来就发展了另一种模式,即“诱导契合”模式。其要点如下:

- 当底物分子结合到酶分子的活性部位上去时,酶蛋白的分子构象有一个显著的变化;
- 催化基团的正确定向对于催化作用是必要的;
- 底物诱导酶蛋白分子构象的变化,导致催化基团的正确定向和底物结合到酶分子的活性部位上去。

“诱导契合”学说认为,催化部位要通过诱导才能形成,而不是现成的。这样就可以排除那些不适合的物质偶然“落入”现成的催化部位而被催化的可能。“诱导契合”学说也能很好地解释所

谓的“无效”结合,因为这种物质不能诱导催化部位的形成。

1.3 为什么使用酶

人们根据对生命活动规律的认识,发现离开生物体的酶同样起着高效率的催化作用。这个发现对酶的生产和应用有着重要的意义。现代的酶制剂对于工农业生产和医疗卫生事业起着巨大的作用。

在现实生活中酶已经承担了很多的任务,发挥了很大的作用。在很多工业行业中,它们有助于提高产品的质量,并降低生产成本。简言之,酶可以为它的用户增收节支。可以肯定,采用酶的工艺过程,在经济上一定具有推动力。因为当一种新的工艺方法出现后,如果它在经济上不比老的工艺方法优越,人们是不会去采用的。新工艺能够取代老工艺,一定在经济上具有更多的优越性。

采用酶的一些优越性可简要地归纳如下:

效益	优越性
节支	产品中某些组分的替代 加工工艺/加工助剂的替代 更有效的加工工艺 • 减少不希望有的副产品 • 提高生产装置的能力
增收	增加产品得率 得到改善性能的产品和/或得到性能独特的产品

酶可以降低生产成本,从而节约开支。这可以通过简单的以酶替代产品中某一种组分来实现;或者通过以使用酶的工艺方法

取代另一种更为昂贵的制造工艺来实现。

酶可以使某些工艺过程变得更为有效,因而节约支出。由于酶的高度的专一性以及使用酶的工艺的操作条件较为缓和,与化学工艺过程相比,往往可以减少不希望有的副产品。此外酶的使用可以使某些操作(如混合、过滤和蒸发)更为有效。也就是说,用同样的设备可以加工更多的物料而耗用较少的能源。这就意味着不需基本建设投资就可以扩大工厂的生产能力。

酶能提高产品得率而使用户增加收入。对于某些操作,如萃取,酶可以使同样的进料得到更多的最终产品。这个好处除了使用户从投料得到更多的回报以外,可以在不需进行基本建设的条件下使工厂的生产有所扩大。

酶的另一个使用户增加收入的途径是赋予某个组分或某种产品一种希望具有的性质。当今,在某些场合,有些产品用其他方法是不能制造得到的。一个著名的例子是高果糖玉米糖浆(HFCS)。在葡萄糖转化为果糖的生产中,只有使用酶,才能实现得率高而副产品少的目标。这个工艺方法导致了一个工业行业的创建,这就是高果糖玉米糖浆工业。在美国,高果糖玉米糖浆的年产量达到360万吨以上。另一个重要例子就是酶在洗涤用品中的应用。酶的引入使现代的洗涤用品具有了独特的、卓越的、无与伦比的性能。具体来说,酶的作用如下:

- 降低粘度;
- 改善萃取;
- 促成生物转化;
- 造成分离;
- 改变功能;
- 合成化学品;

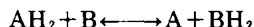
- 改善洗涤性能。

1.4 酶的分类

酶的品种很多,已经研究的约有2000种,应用于生产实践的有120种左右。在酶的发展过程中形成了各种分类方法。一般按底物的种类来分,如蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶等;还有的按酶的来源来分,如胃酶、胰酶、木瓜蛋白酶等。分类方法的不统一,在实践中造成很多混乱和不便。因此,国际生物化学联合会酶学委员会规定了统一的按酶所催化的底物的反应来分类的方法,把酶分为6大类:

(1) 氧化还原酶(Oxydoreductase)

反应时需要电子供体和受体。反应通式可以写成:



其中 AH_2 为供氢体, B 为受氢体。

(2) 转移酶(Transferase)

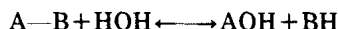
反应时一种分子上的基团转移到另一种分子上。反应通式为:



其中 R 为被转移基团。它可以是醛基、酮基、磷酸基、糖苷基及氨基等。

(3) 水解酶(Hydrolase)

此类酶催化大分子物质加水分解成为小分子物质。其反应通式为:



其中 $A-B$ 代表底物。

(4) 裂解酶(Lyase)

此类酶催化一个化合物分子分解为两个或更多的化合物

分子,包括其逆反应。其反应通式为:



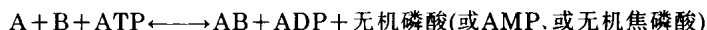
(5) 异构酶(Isomerase)

此类酶能催化底物分子内部的重排反应;即催化同分异构化化合物的互相转化。其通式为:



(6) 合成酶(连接酶)(Ligase)

此类酶能将两个底物分子合成为另一个产物分子。反应时由ATP(腺苷三磷酸)或其他高能的核苷三磷酸供给反应所需的能量。其通式为:



1.5 酶的活性

前面已经介绍过,酶是一种催化剂,是具有催化活性的化合物。因此,酶的强度和能力的多是以酶活性来表征的。习惯上,酶活性称为酶活力,或者简称为酶活。

酶活力由实验测量结果推导得到。它表示在给定各项条件下酶催化一个反应的能力。也就是在单位时间内由于反应而使底物消失或者产物生成的量。比活是纯度的量度,是指单位质量的蛋白质中所含的某种酶的催化活性。对于不纯的酶,特别是含有大量的盐或其他非蛋白物质的商品酶制剂,单位质量酶制剂中酶活性只能表示单位质量制剂的酶含量,不能称为比活。

本书第4章将对洗涤剂酶的活力测定及其与性能的关系作详细的叙述和讨论。

第2章

洗涤剂酶

2.1 洗涤剂酶的定义

前面已经介绍过,酶按所催化的反应类型分为6大类。洗涤剂中使用酶的作用对象主要是各种污垢物质,使之水解转变为水溶性的物质,因而很容易清洗。例如,蛋白酶使蛋白质污垢水解成为肽和氨基酸;淀粉酶使淀粉类污垢水解成为分子质量较低的糖类;脂肪酶使油脂类污垢水解成为单甘油酯、二甘油酯、脂肪酸和甘油。还有一种重要的洗涤剂酶——纤维素酶,它的作用对象虽然并不是污垢而是纤维素本身,但它的主要作用还是使纤维素所产生的微短毛因水解而弱化,再经洗涤过程中的机械作用被脱除。上述各种作用都将在本书的后面部分详细叙述,此处不加展开。但是从上述4种类型的洗涤剂酶的作用来看,就可以得出结论:洗涤剂酶是属于水解酶这一大类的酶。洗涤剂中加酶主要是为了提高洗涤剂的去污性能;在某些场合,还可以改善抗再沉积、增白(显色)、织物保护和柔软等性能。

2.2 洗涤剂酶的发展历史和展望

酶在合成洗涤剂产品配方中的作用,也就是酶在合成洗涤剂去污过程中的作用。日常生活中遇到的污垢,特别是衣服上的污垢,其组成是十分复杂的。一般说来,主要有尘土的微粒、人体分泌的皮脂和汗液、食品的汁液和残余物等。前者主要是无机物,在以表面活性剂和助洗剂为主要组成的合成洗涤剂溶液中是很容易清除的。后者则是以蛋白质、油脂、淀粉等有机物为主,大多是本身不溶于水,或者是在脱水变性后不溶于水的大分子化合物。而这些污垢对织物纤维,特别是最常用的棉纤维却有着很强的附着力,因此很难清除干净。但是,这些有机物在人或动物体内,很多都由于酶的作用而分解为水溶性物质并通过消化道被吸收成为营养物质。这个原理很早就为人们所认识。在20世纪初期就已经有人尝试将酶用于织物的洗涤以除去污垢。然而,直到60年代初期才开始正式地将酶用在合成洗涤剂产品配方中,市场上也出现了加酶的洗衣粉。以后数年中加酶洗衣粉的市场份额逐步扩大,合成洗涤剂工业的酶使用量也逐年上升。但是,到60年代后期出现了反复,由于酶的安全性问题使消费者对加酶洗涤剂产生了怀疑,导致酶在合成洗涤剂工业中的使用量急剧下降,几乎降为零。到70年代酶制剂的安全运作问题得到解决以后又恢复上升趋势。至于许多酶的新用途、新类型、新品种、新制剂型式的开发和上市,则是近十年的事。关于酶的安全问题将在本书后面专门讨论,此处先叙述酶正式在合成洗涤剂中使用前所遇到的困难。由于人或动物体内的酶所参与的化学反应的过程和条件,与酶参与织物清洗的过程和条件有很大不同。从这些不同点可以看出合成洗涤剂工业对酶制剂的要求,以及酶制剂工业如何并在何等程度

上满足这些要求。

• 人或动物体内工作的酶都是由特定的腺体定量分泌,现制现用的。这就是人或动物体内酶的催化活力和选择性很高的重要原因。合成洗涤剂所用的酶和所有工业上用的酶一样,不论是直接从动植物的组织中制取的,或是从某种微生物培养得到的,或是通过遗传工程等高技术的方法制备的,都必须做成制剂,经过包装、储存、销售和运输等环节,到达酶制剂的使用者(合成洗涤剂的生产者)那里。到了那里,还要经过运输、储存和生产过程中的各个环节。制得的洗涤剂产品还要经过包装、储存和运输过程才能到达消费者手里。消费者从购进相应的洗涤剂到使用完毕也有一个相当长的周期。因此,要使合成洗涤剂产品中的酶在织物洗涤过程中成功地成为一个有效的组分,必须解决酶的储存稳定性问题,就是要求酶制剂在一个相当长的时期内能够尽可能地保持它原来的活力和选择性。这不但对于像我国这样商品流通机制还不太顺畅的发展中国家极为重要,即使在一些发达国家里,尽管具备了有效的商品流通机制,运输条件也很好,使商品的货架时间显著地缩短了,但消费者的采购往往是成批进行的,洗涤剂的生产者为了适应这种要求都将商品包装做得较大,因此洗涤剂产品在消费者家庭里仍然要有较长的储存时间。在当今的技术水平,颗粒状酶储存在密闭容器中,温度低于 25°C 的条件下,标称活力可保持1年以上。当酶处于含水的液体状态,储存稳定性要差一些。在温度低于 25°C 的条件下,标称活力能保持3个月。以上所叙述的仅是酶制剂本身的储存稳定性,至于酶制剂配入合成洗涤剂后其储存稳定性还会由于合成洗涤剂其他组分而受到影响(这个问题在下面还会深入探讨)。一般说来,在洗衣粉的生产中,颗粒酶制剂是在后配料阶段加入的,受其他组分的影响不大,储存稳定

性的情况是较好的; 6个月后可保持原活力的85%以上。但是在液体洗涤剂内, 很多组分处于相溶状态, 对稳定性的影响更显著。于30℃下储存2个月后, 残余活力为50%~80%。

- 人或动物体内酶的作用都是在酸性或中性条件下进行的。例如, 胃液中的胃脘酶将蛋白质分解为多肽是在强酸性的条件下进行的。胰腺液中的酶将多肽进一步分解为氨基酸, 并将淀粉分解为单糖; 还有脂肪酶使油脂发生的水解, 都是在十二指肠内, 在微酸性到中性条件下(pH一般在6.5~7.0)进行的。而大多数织物清洗的洗涤溶液都保持在较高的碱性条件下, pH可能达到10.5, 甚至11。因此, 洗涤剂所用的酶必须能适应在后者的条件下保持活力。对于这个问题, 酶制剂的生产者是解决得比较好的。现在新型的蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶都可以适应洗涤溶液pH到11的条件。有些蛋白酶和脂肪酶甚至可以适应pH高达12的条件。目前, 只有对于纤维素酶一般要求洗涤溶液的pH上限为9.5, 但是实际上pH达到10时仍有活力。甚至配入pH为10.5的浓缩洗衣粉中, 作用还很明显。

- 世界各地的洗涤习惯, 例如洗衣方式、洗衣机的型式、洗衣浴的浓度、洗涤温度等都有很大不同。以洗涤温度来说, 亚洲国家如中国和日本等都是常温洗涤, 在冬季的洗涤温度可能低至10℃; 而欧洲各国习惯用热水洗涤, 即使为了节能的要求, 洗涤温度有所降低, 也仍然在40℃以上, 有的还达到60℃。因此, 洗涤剂用的酶制剂要在10~60℃的范围内都能有效地发挥作用。这个问题也已经基本上解决了。新型的蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶的适用最低温度都已经到10℃。虽然纤维素酶的推荐使用温度还是20℃以上, 但是有家纤维素酶的生产者曾报道试验结果: 在15~20℃也能获得良好的结果。而且, 在使用常温的水进行洗涤的国家和地区里(即使是在我国或日本的冬季较寒冷的地区), 室内水

温,尤其是在洗衣机中停留一段时间后的水温仍然低达10℃的场合是不多的。至于东南亚国家更是不会发生的。因此,对于纤维素酶使用温度低限的差距,问题并不严重。

- 洗涤溶液中必然有一定浓度的表面活性剂,表面活性剂会对酶的活力产生负面影响。特别是常用的阴离子表面活性剂,如直链烷基苯磺酸钠(LAS)和烷基硫酸钠(AS)影响更显著。因此,不论何种酶要能够在洗涤剂配方中使用,必须具有一定的对表面活性剂的耐受力。当今市场上大多数的酶制剂都是具备了这样的耐受力的产品。但是,对于某些酶来说,如果洗涤溶液中是单一的阴离子表面活性剂,特别是最常用的LAS,其活力还是会受到很大的影响。如果洗涤溶液中同时存在一些非离子型的表面活性剂(例如脂肪醇聚氧乙烯醚AEO₉),情况就会好得多。因此,酶制剂的制造者对于加酶洗涤剂的生产者都推荐将非离子表面活性剂和阴离子表面活性剂复配使用。世界上许多著名的合成洗涤剂生产公司的经验都证明,阴离子和非离子表面活性剂复配使用,可以由于协同效应而发挥增效作用;去污力比两者分别单独使用时相应有所提高。因此,配方中总的表面活性剂含量可降低,漂清性也有所改善。从这个角度来看,上述复配使用的建议,不但能有效地发挥酶的作用,对合成洗涤剂整体的质量水平也是有益的。

- 在一定范围内,钙和镁离子有助于发挥酶的作用。但是,在通常的合成洗涤剂配方中,特别是洗衣粉的配方中,都含有较多的助剂。这类助剂主要是三聚磷酸钠或4A沸石。前者可以与水中的钙、镁离子螯合,而后的作用主要是与水中的钙离子交换,因而有助于表面活性剂的作用的发挥。但是,助剂如使钙离子浓度过于降低,会影响洗涤溶液中酶发挥作用。因此,酶制剂的生产者都努力使他们研制的酶制剂具有尽可能小的对钙、镁离子的依赖性。