

农产品现代加工技术丛书



蛋白质加工技术

江志炜 沈蓓英 潘秋琴 编



化学工业出版社

农产品现代加工技术丛书

蛋白质加工技术

江志炜 沈蓓英 潘秋琴 编

化学工业出版社

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

蛋白质加工技术/江志炜, 沈蓓英, 潘秋琴编. —北京:
化学工业出版社, 2002.12
(农产品现代加工技术丛书)
ISBN 7-5025-4157-8

I. 蛋… II. ①江… ②沈… ③潘… III. 蛋白质-
化学加工 IV. TQ936

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 085751 号

农产品现代加工技术丛书

蛋白质加工技术

江志炜 沈蓓英 潘秋琴 编

责任编辑: 刘俊之

文字编辑: 刘志茹

责任校对: 陈 静

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010)64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 10 $\frac{3}{4}$ 字数 288 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4157-8/TS·76

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

内 容 提 要

本书第一、二章扼要介绍了食品蛋白质的基本理化性质和分子结构的关系。第三、四章重点阐明了蛋白质、多肽、氨基酸在食品中的功能,包括营养功能、改善品质和质构的功能以及保健功能。并且介绍了这些功能与蛋白质的基本理化性质和分子结构的关系。同时对改善食品品质和质构的功能特性的定性、定量分析作了较全面介绍。第四、五章主要用作食品基础原料的蛋白质产品生产技术以及加工过程工艺条件对蛋白质的影响。

上述这些内容有些仅是定性介绍,因为蛋白质毕竟是结构复杂的大分子,随着人们对它认识的不断加深,对规律的认识也就可以从定性了解变为定量描述。

前 言

“民以食为天”。解决好我国 13 亿人口的吃饭问题，无论在科技、经济、社会发展策略中都占非常重要的地位。我国可耕地面积仅占全世界可耕地面积的 7%，却要解决全球 22% 人口的吃饭问题。面对这一基本国情，为了满足人们能量和营养的需要，走一条适合我国国情，发展植物蛋白为主，同时适当发展动物蛋白的道路，是解决吃饭问题的重要战略。这也是广泛开展蛋白资源的开发研究的社会驱动力。

蛋白质与脂肪、淀粉、糖是食品工业的四大基础原料，广泛应用于各类食品，包括糖果、糕点、冷饮、饮料、肉制品、乳制品、面制品等，它不仅有强化营养的功能，而且具有改善各种食品品质、质构的功能。随着蛋白质消化、代谢过程方面研究的深入，蛋白制品的保健功能已引起人们的关注。在较系统地掌握蛋白质基本结构和理化性质的基础上，了解蛋白质的营养功能，改善食品品质和质构的功能以及保健功能。并了解这些功能特性与蛋白质的理化性质和基本结构之间的关系和变化规律，对从事食品相关行业的科技工作者，生产经营者无疑是很必要的。

总结我们多年研究开发和理论教学的实践，根据前述的基本指导思想编写成本书，目的是抛砖引玉，把一些肤浅的体会提供同行参考，同时真诚地希望能得到同行的批评指正。

编者

2002 年 10 月

目 录

第一章 食品蛋白质的基本组成	1
第一节 氨基酸的特性	1
一、通式	1
二、氨基酸的分类	2
三、氨基酸的缓冲作用及其等电点	5
第二节 氨基酸的风味及功能	8
一、甜味氨基酸	9
二、鲜味氨基酸	10
三、氨基酸对饮料风味的缓冲作用	11
四、氨基酸的增香和发色作用	11
五、氨基酸的抗氧化活性	12
六、氨基酸对有害物质生成的抑制作用	12
七、氨基酸在各应用领域中的分布比例	12
第三节 多肽的概述	13
一、多肽的形成	13
二、多肽的典型实例	15
第四节 蛋白质中氨基酸组成表示方法	18
第二章 蛋白质分子结构	19
第一节 蛋白质分子组成	19
一、蛋白质分子中元素组成	19
二、常见食品中氮与蛋白质之间换算系数	20
第二节 蛋白质分子结构	20
一、蛋白质分子中的重要化学键	20
二、蛋白质分子结构	30
三、小结	41
第三节 蛋白质的变性和控制方法	42
一、蛋白质溶液的概述	42

二、蛋白质的变性	45
第四节 蛋白质分类	59
一、按蛋白质特性分类	59
二、按蛋白质分子形状分类	62
第三章 蛋白质营养及生理调节功能	65
第一节 食品蛋白质的营养生理学意义	65
一、人体需要的营养素	65
二、蛋白质的生理意义	65
第二节 蛋白质的营养途径	70
一、蛋白质的消化	70
二、蛋白质的吸收作用	72
三、寡肽(小肽)比氨基酸更易消化吸收	73
四、代谢作用简述	75
第三节 蛋白质食物的营养评价	76
一、生物学方法	76
二、化学方法	81
三、生物学法和化学法评价的比较	83
四、动物性蛋白和植物性蛋白的营养功能	84
五、提高食物蛋白质营养价值的实例	86
第四节 蛋白质、多肽营养生理调节功能	86
一、氨基酸营养生理调节功能	88
二、多肽、蛋白质营养生理调节功能	90
第五节 功能食品的现状和展望	103
一、概述	103
二、功能食品分类及研究范畴	104
三、国内外功能食品现状	105
四、今后展望	107
第四章 食品蛋白质功能特性及评价	108
第一节 蛋白质功能特性及其结构关系	108
一、引言	108
二、食品蛋白质功能特性概述	110
三、食品蛋白质功能特性	113
四、蛋白质功能特性及其结构关系	157

五、食品蛋白质功能特性的开发应用	161
六、功能蛋白新资源的开发应用	169
第二节 蛋白质功能特性的评价	185
一、吸水性测定方法	185
二、溶解度测定方法	186
三、保水性、持水性测定方法	188
四、黏度与相对黏度测定方法	188
五、凝胶形成性、凝胶组织、凝胶强度测定方法	189
六、吸油性测定方法	191
七、乳化物类型鉴别和乳化性、乳化稳定性测定方法	191
八、起泡性、泡沫稳定性测定方法	194
九、组织化蛋白流变性质测定	195
十、面团性测定方法	196
十一、蛋白质功能特性评价的局限性	196
第五章 蛋白质产品的加工技术	199
第一节 概述	199
第二节 蛋白制品的加工技术	200
一、活性蛋白粉	200
二、组织蛋白	202
三、浓缩蛋白	205
四、分离蛋白	210
五、水解植物蛋白 (HVP)	215
六、可食性薄膜	220
七、蛋白质类脂肪代用品	223
第三节 蛋白饮料的加工技术	226
一、大豆蛋白饮料的生产技术	226
二、花生蛋白饮料的生产技术	232
三、蛋白饮料用水的生产技术	234
四、基础配方的确定及辅助原料的选用	236
第四节 蛋白质改性修饰技术	242
一、概述	242
二、物理改性	243
三、化学改性	244

四、酶法改性	255
五、化学-酶改性作用	258
六、化学改性及酶法改性限制因素	258
七、蛋白质改性控制的指标	262
八、蛋白质改性修饰技术的应用	265
第五节 功能肽的加工技术	269
一、高 F 值寡肽的生理功能和制备	269
二、大豆降压肽的生理功能和制备	275
三、蛋白醒酒肽饮料的生理功能和制备	279
四、大豆蛋白抗氧化肽的制备	283
第六章 食品加工对蛋白质的影响	287
第一节 引言	287
第二节 食品加工中赖氨酸失效机理及其测定	288
一、赖氨酸在食品中占显要地位	288
二、赖氨酸失效机理	290
三、有效赖氨酸测定方法	305
第三节 食品加工中蛋氨酸氧化作用及其测定	307
一、食品蛋白质中蛋氨酸的重要作用	307
二、加工贮存过程中蛋氨酸受损的原因	308
三、选择适当工艺条件, 改善蛋氨酸受损情况	308
四、添加 DL-蛋氨酸强化食品蛋白, 提高食品蛋白质的 营养价值	310
五、有效蛋氨酸的专一性测定方法	311
第四节 食品加工中色氨酸受热变化及其测定	312
一、食品蛋白中色氨酸的重要性	312
二、食品加工中色氨酸热分解产物	312
三、食品加工中色氨酸变化检测方法	313
第五节 食品加工对氨基酸、蛋白质影响	314
一、食品加工对氨基酸的影响	314
二、食品烹调过程中, 氨基酸产生致癌诱变作用	316
三、食品加工中蛋白质之间的相互作用	319
四、食品加工中蛋白质和非蛋白质组分之间的相互作用	320
五、食品加工对蛋白质功能特性和营养生理调节功能的影响	322

第六节 食品腐败变质中蛋白质的变化	327
一、食品腐败后体系中 pH 值的变化	327
二、蛋白质腐败生成挥发性盐基氮	328
三、蛋白质食品腐败的最终产物——氨的生成	328
四、氨在脱氢酶催化下进行的反应	329
五、食品腐败后产生恶臭的原因	330
六、食品蛋白质腐败程度的检测	330
参考文献	332

第一章 食品蛋白质的基本组成

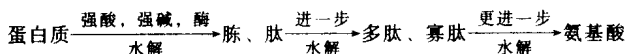
第一节 氨基酸的特性

自然界生物体中蛋白质是基本组成之一，虽然蛋白质的含量在各物质中所占的比例差异颇大，如大豆中蛋白质含量可高达32%~46%，牛肉中蛋白质含量为20%，鸡蛋中蛋白质含量12%~13%，谷物类中蛋白质含量为8%~14%，详见表1-1。

表 1-1 主要食品中蛋白质含量及蛋白利用率

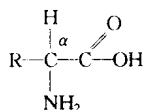
食 品	鲜鸡蛋	鲜奶	牛肉	鱼肉	大豆	大米	面包
蛋白质含量/%	12.7	4~8	19.3	20	32~46	6~8	8
蛋白利用率/%	94	82	80	65	60~65	60	48

不论是动物蛋白，还是植物蛋白以及单细胞蛋白、藻类蛋白，均可被酸、碱、酶催化水解。使高分子量的蛋白质分子断裂，分子量随着水解程度深化而逐渐降低，水解产物就是成为分子量大小不等的胨、肽。随着水解的继续进行，多肽、寡肽可进一步水解成氨基酸，而氨基酸则不能再水解成更小的单元。一般确定氨基酸是蛋白质水解的最终产物，所以氨基酸是组成蛋白质的基本组成。



一、通式

目前在自然界已发现氨基酸为175种，但组成蛋白质的氨基酸(amino acid, 简称AA)为其中20种左右。氨基酸化学名称为 α -氨基酸，其化学通式为：



从通式上可得如下几点。

(1) 氨基 ($-\text{NH}_2$) 在 α 碳上取代氢原子, 羧基 ($-\text{COOH}$) 也在 α 碳上取代氢原子。

(2) 取代 α 碳上氢原子, 还有 R 基。氨基酸之所以不同就取决于其各有不同 R 基。各异的 R 基影响氨基酸的物理化学性质、蛋白质组成及空间结构。

(3) α 碳为不对称碳原子 C^* , 天然氨基酸中除最简单结构甘氨酸之外, 其余均有不对称碳原子, 产生立体异构现象, 所得立体异构数量为 2^n , 其中 n 为不对称碳原子数目, 当 $n=1$ 时, 即有两种 (左旋, 右旋, 即 L-, D-)。组成蛋白质的 20 种氨基酸均为 L 型, 这是因为如组成蛋白质的长碳链上存有 D-氨基酸, 将妨碍其组成紧密的空间结构, 如球状结构。至于如何确保只有 L-氨基酸参与蛋白质合成呢? 机体依靠具有生物专一性酶的作用, 采取不消化、吸收 D-氨基酸或者在体内将 D-氨基酸转变为 L 型或排泄体外, 但机体不是所有 D-氨基酸均可通过相应的酶转化为 L-氨基酸, 如赖氨酸就不能, 必须直接摄入 L-赖氨酸。

(4) 晶体结构中键长和键角, 通过 X 射线衍射分析测知, 氨基酸分子有严格的键长和键角, 并基本相同, 其中 $-\text{COOH}$ 组成羧基平面, C^*-NH_2 基本处于羧基平面上; C^*-R 几乎和羧基平面垂直, 即 $\alpha\text{-C}^*$ 的四个键是正四面体结构, 除 R 基外, 其余原子几乎处于同一平面上, 并垂直于该平面, 可见 R 基的体积、极性大小、带电荷多少等均影响蛋白质的空间结构, 从而影响蛋白质的功能。反之, 人们利用 R 基在蛋白质三维结构外侧, 对其修饰就可改变其功能。例如: 由于钙离子在人体胃中产生沉淀而降低了吸收率。发现酪蛋白氨基酸的侧链 R 基可和钙离子结合, 通过胃进入小肠直接吸收, 使人体对钙的吸收率由 30% 提高到 70% 以上, 这就是风靡市场的促钙吸收剂酪蛋白磷酸肽 (CPP)。

二、氨基酸的分类

(一) 按 R 基化学结构分类

(1) 脂肪族氨基酸: 甘氨酸 Gly, 丙氨酸 Ala, 缬氨酸 Val, 亮

氨酸 Leu, 异亮氨酸 Ile, 天门冬氨酸 Asp, 谷氨酸 (麸氨酸) Glu, 精氨酸 Arg, 赖氨酸 Lys, 半胱氨酸 Cys, 蛋氨酸 Met, 丝氨酸 Ser, 苏氨酸 Thr, 天门冬酰胺 Asn, 谷氨酰胺 Gln。

(2) 芳香族氨基酸: 苯丙氨酸 Phe, 酪氨酸 Tyr。

(3) 杂环氨基酸: 色氨酸 Trp, 组氨酸 His。

(4) 亚氨基酸: 脯氨酸 Pro。

(二) 按氨基与羧基数目分类

(1) 中性氨基酸: 氨基数 = 羧基数, Gly, Ala, Val, Leu, Ile。

(2) 酸性氨基酸: 氨基数 < 羧基数, Asp, Glu。

(3) 碱性氨基酸: 氨基数 > 羧基数, Arg, Lys。

(三) 按 R 基极性大小分类

(1) 非极性 R 基氨基酸: Ala, Val, Leu, Ile, Pro, Phe, Try, Met。

(2) 极性 R 基氨基酸, 可根据 R 基在生理 pH 值范围 (pH 6~7) 内的解离状态分为带电和不带电。

① 不带电荷的极性 R 基氨基酸: Gly, Ser, Thr, Cys, Tyr, Asn, Gln。

② 带正电荷的极性 R 基氨基酸: Lys, Arg, His。

③ 带负电荷的极性 R 基氨基酸: Asp, Glu。

(四) 营养学上分类

由此类命名的氨基酸是在蛋白质食品制取、配制、加工、运输、贮藏中常采用。

1. 必需氨基酸 (essential amino acid)

可组成蛋白质的 20 种左右氨基酸中, 对机体来说, 都不可缺少, 但并非都需要直接从食物摄取, 有一部分氨基酸可在人体内合成, 或者可由其他氨基酸转变而成, 但是有 8 种氨基酸在人体内不能合成, 或合成的速度不能满足机体需要, 必须从每日膳食中供给一定的数量。根据 WHO 和 FAO 公布的氨基酸模式 (amino acid pattern) 为如下 8 种: 苏氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、赖氨酸

酸、色氨酸、苯丙氨酸、蛋氨酸，称为必需氨基酸。更为严格的是，8种必需氨基酸中的赖氨酸和苏氨酸，必须由食物提供的L型氨基酸用于蛋白合成；其余6种可提供L型、D型、 α -酮基衍生物或 α -羟基衍生物。因人体中有相应的转化酶可生成相应L-氨基酸，再参与蛋白合成。当选择蛋白加工工艺时，此点必须作为条件考虑，并对产品中赖氨酸、苏氨酸含量在加工前后变化进行检测，确定其营养价值，同时也可确定此加工工艺及工艺条件是否适宜。

婴儿时期和某些情况下（如出现代谢障碍病灶），内源性合成不足，还有两种氨基酸——组氨酸、精氨酸由外界膳食直接供给，此类现象有时间性、阶段性，在营养学上称为半必需氨基酸。

2. 非必需氨基酸 (dispensable amino acid)

指对人体生理生化所必需的，而体内能合成或转化而得的12种氨基酸，但必须指出：所谓非必需并非是不需要，这类氨基酸可以供给机体所需要氮的来源，它们在蛋白合成、转氨作用、氧化脱氨、尿素形成起重大作用。

必需氨基酸和非必需氨基酸之间比例多少为宜，这是开发新产品常用指标。成年人每日供给的蛋白质中只有20%由必需氨基酸供给，以维持其机体的氮平衡。婴儿则需要有35%由必需氨基酸供给，由此推算对成人来讲，膳食蛋白质中必需氨基酸的量：非必需氨基酸量=1:4，对婴儿来讲，膳食蛋白质中必需氨基酸量：非氨基酸量=1:1.86。可见两者比例失调造成氨基酸不能充分利用，严重引起中毒，最典型的病例就是我国每年有1000~1500名婴儿生下来即是痴呆，他们患一种叫苯丙酮尿症的遗传疾病，这是因为婴儿肝脏内缺少羟化酶，造成血液中苯丙氨酸（属必需氨基酸）含量增高，使中枢神经受到损害，对此类患者须喂去除苯丙氨酸的特制奶粉，可见即便是必需氨基酸也绝非越多营养价值即越高。

3. 限制氨基酸 (limiting amino acid)

在配制婴儿营养食品往往考虑选择原料、用量、加工工艺、产品营养评价。为此还需了解在食品蛋白质中某一种或几种必需氨基酸缺少或数量不足，就使食物蛋白质在合成为机体蛋白质的过程受

到限制，这一种或几种必需氨基酸就称为限制氨基酸。植物蛋白中常常是苏氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、色氨酸为其主要限制氨基酸。但也各有不同，如大米主要限制氨基酸是赖氨酸和苏氨酸，制取婴儿米粉营养食品时，如选择米粉为主，不妨添加大豆粉来补偿相互不足，因为大豆蛋白中赖氨酸、苏氨酸含量相对较高，对大豆蛋白而言，其限制氨基酸是蛋氨酸。

三、氨基酸的缓冲作用及其等电点

(一) 氨基酸的缓冲作用

在饮料制取中必须添加柠檬酸，利用其缓冲作用，调节饮料风味，如加蜂蜜可使饮料风味更柔和，原因是蜂蜜中游离氨基酸的含量较高，而氨基酸具有的缓冲作用可起调节作用。

每1个氨基酸分子至少有2个可离子化的弱酸基，即 $-\text{COOH}$ 和 $-\text{NH}_2$ ，在溶液中这些基团有2种形式：带电荷的解离状态和不带电荷的中性状态，两种状态彼此处于质子平衡。如 $\text{R}-\text{COOH}$ 在碱性条件下解离为 $\text{R}-\text{COO}^-$ 阴离子和 H^+ 阳离子， $\text{R}-\text{NH}_3^+$ 阳离子在碱性条件下解离为 $\text{R}-\text{NH}_2$ 和 H^+ 阳离子。其中氨基酸中羧基的解离常数为 $\text{pK } 2\sim 3$ ，氨基酸中阳离子氨基的解离常数为 $\text{pK } 9\sim 10$ ，碱性氨基酸R基的解离常数为 $\text{pK} > 10$ ，酸性氨基酸R基的解离常数为 $\text{pK } 1.3\sim 4.5$ 。

氨基酸分子在溶液中带电情况，取决于溶液 pH 值变化， pH 值不同，氨基酸的带电情况不同，详见表1-2。

表 1-2 不同 pH 值时氨基酸基团解离状态

溶液 pH 值变化	$\alpha\text{-COOH}, \alpha\text{-NH}_3^+$	碱性 AA 的 R—	酸性 AA 的 R—	净电荷数
$\text{pH} < 2.0$	$-\text{COOH}, -\text{NH}_3^+$	R^+	R^0-	“+”
$\text{pH } 2\sim 9$	$-\text{COO}^-, -\text{NH}_3^+$	R^+	R^-	“0”
$\text{pH} > 10$	$-\text{COO}^-, -\text{NH}_2$	R^0	R^-	“-”

可见，氨基酸在溶液中呈电性状况由三部分组成：① $\alpha\text{-NH}_3^+$ ；② $\alpha\text{-COOH}$ ；③R基，氨基酸净电荷数为三者之和。

(二) 等电点

1. 等电点涵义

如在某一 pH 值时, 氨基酸净电荷数为零, 则其在电泳系统中就不会发生向正极或负极移动现象, 在这种状态时, 此溶液的 pH 值称为该氨基酸的等电点 (isoelectric point), 以 pI 表示, 氨基酸不同, 其 pI 也不同, 所以 pI 是氨基酸的特征值。

中性氨基酸 (一羧基, 一氨基的氨基酸) 的等电点在 pH 6 左右; 酸性氨基酸 (二羧基, 一氨基的氨基酸) 的等电点在 $\text{pH} < 6$; 碱性氨基酸 (一羧基, 二氨基的氨基酸) 的等电点在 $\text{pH} > 6$ 。等电点的数值即生成两性离子前后反应 pK 值之和的一半, 这一简便计算等电点方法也可推广至已知氨基酸排列肽的等电点计算。

2. 等电点时蛋白质的溶解度

(1) 等电点时蛋白质的溶解度是等电点时蛋白质溶液或氨基酸溶液最大特征, 常是我们选择蛋白制取、纯化的依据。等电状态时氨基酸或蛋白质溶解度为最小, 但不等于零, 约在 10% 左右。而在等电点两侧, 只要 pH 值改变 1 个单位, 则蛋白质、氨基酸溶解度就可以有 10 倍变化。目前对此现象有两方面解释: ①分子间作用力, 在等电点时, 氨基酸在溶液中以两性离子形式存在, 就整个分子来说是处于电中性状态的, 它和极性的水分子作用, 比起处于阳离子或阴离子状态来说不是那么强烈, 因此溶解度最小; ②从库仑公式 $F_{\text{吸引力}} = \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2}$ 等于正负离子浓度的乘积除以介电常数和距离平方的乘积, 在 pI 时, 虽整个分子净电荷为零, 但正负离子浓度相等时, 两者带电量达到最大, 所以吸引力最大。在碰撞时, 就有可能产生聚结体而沉淀下来, 溶解度减少。如 pH 值大于 pI 或 pH 小于 pI, 则正负离子两者就有一者减弱, $F_{\text{吸引力}}$ 相应减弱, 如使介电常数 ϵ 减少, 也可使 $F_{\text{吸引力}}$ 值上升, 那加入一些与水可混溶的有机溶剂如丙酮、乙醇可达此目的。这样处理, 使蛋白、肽、氨基酸更易沉淀, 大大提高蛋白的得率。大豆蛋白质在不同 pH 值下的溶解度曲线见图 1-1。

(2) 等电点区域中不溶性的改变 在蛋白质、氨基酸、肽

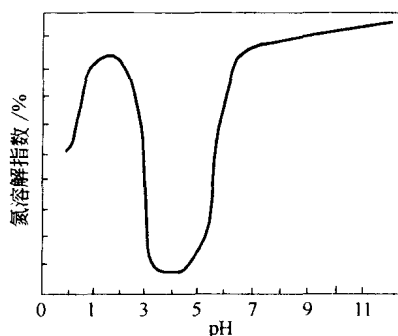


图 1-1 大豆蛋白质溶解特性曲线

制取工艺上常采用调整溶液 pH 至其等电点 pI ，使蛋白凝聚呈大分子而沉淀下来，离心分离而得蛋白浆料，该工艺称为等电点沉淀法（或等电沉淀法）。这就是利用等电点时蛋白质溶解度最低，而且尽量使其溶解度降低得越低，则相应蛋白得率越高，离心时上层清液中蛋白质含量低，废水排污等问题也易解决。但有时出于需要，如酸性蛋白饮料，期望蛋白质在其等电点附近时，溶解性提高或者等电点改变。可借助酶的作用，制取等电可溶蛋白，这类制品主要用作蛋白发泡剂、咖啡增白剂、酸性蛋白饮料等的制取。

实例 1 大豆分离蛋白的等电点为 $pH\ 4.2\sim 4.5$ ，现用蛋白酶改性大豆分离蛋白，提高其在等电点时的溶解度，制备等电可溶大豆分离蛋白。实验结果如下：对大豆分离蛋白和改性蛋白在 $pH\ 4.2$ 等电点处，上清液中蛋白含量进行了测定，数据比较可知，在大豆蛋白等电点 $pH\ 4.2$ 处，蛋白含量酶改性后可提高近十倍。

实例 2 大豆分离蛋白当进行磷酸化反应，制得改性大豆分离蛋白，使等电点由原来 $pH\ 4.2\sim 4.5$ 移向 5.0 左右。

实例 3 改变等电点可延长某些蛋白质生化药物的疗效，如胰岛素在体内作用时间一般为 $6\sim 8h$ ，当等电点为 5.3 的胰岛素在人体生理 $pH\ 6\sim 7$ 条件下易溶解，药效只能维持 $6\sim 8h$ ，而当等电点为 5.3 的胰岛素与等电点为 12.4 的鱼精蛋白，在同一 pH 条件下，