

# 烤烟淀粉代谢及对烟叶香吃味的影响\*

王怀珠, 吕 芬, 杨焕文  
(云南农业大学烟草学院, 云南 昆明 650201)

**摘要:** 综述了烤烟叶片淀粉和蔗糖合成的场所、途径以及二者之间的相互转化以及调控;影响烤烟淀粉含量的主要因素;淀粉及代谢产物对烤烟香吃味的影响。

**关键词:** 烤烟; 淀粉; 蔗糖; 香吃味

**中图分类号:** S 572.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-390X(2004)03-0290-05

## Starch Metabolism of Flue-cured Tobacco and Effect on Aroma and Flavor of Tobacco Leaves

WANG Huai-zhu, LU Fen, YANG Huan-Wen

(College of Tobacco Science, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

**Abstract:** The location and pathway of biosynthesis for starch and sucrose, mutually transforming and allotting between them by controlling measures in flue-cured tobacco leaves are reviewed. The main influential factors of the content of starch in flue-cured tobacco leaves are summarized. Effects of starch and its decomposing product on aroma and flavor of flue-cured tobacco leaves are discussed.

**Key words:** flue-cured tobacco; starch; sucrose; aroma and flavor

烤烟是以积累淀粉为主的粉叶类植物<sup>[1]</sup>。淀粉在烤烟叶片细胞中的合成、积累、分解、转化状况,决定着烤后叶片内部各种化学成分之间的协调程度<sup>[2]</sup>,进而影响到其内在品质以及卷烟产品的香吃味风格。因此,深入研究烤烟叶片淀粉代谢规律及其对烟叶品质的影响,对提高我国卷烟产品质量、增强产品国际市场竞争力具有重要意义。

### 1 烤烟叶片淀粉和蔗糖的合成及相互转化

#### 1.1 淀粉和蔗糖合成的场所及途径

淀粉和蔗糖是烤烟叶片光合作用的直接产物。在植物细胞中,淀粉的合成是在叶绿体和淀粉体中,而蔗糖的合成是在细胞质中进行的。

叶绿体通过 RPPP(还原戊糖磷酸途径,卡尔文

循环)固定 CO<sub>2</sub> 的中间产物 TP(磷酸丙糖)可以进入 RPPP 的转酮酶反应,另一方面 TP 经醛缩酶作用缩合成 FBP(果糖-1,6 二磷酸),FBP 经 FBP 磷酸脂酶作用形成 F6P(果糖-6-磷酸),F6P 一方面消耗于 RPPP 的转酮酶反应,另一方面可以经过 P-葡萄糖异构酶转化为 G6P(葡萄糖-6-磷酸)。G6P 经 P-葡萄糖变位酶作用形成 G1P, G1P 与 ATP 经 AGP(ADPG 焦磷酸化酶)作用形成 ADPG(腺二磷葡萄糖)及 P<sub>i</sub>(无机焦磷酸盐)。ADPG 在淀粉合成酶作用下转葡萄糖基至 α-1,4-葡聚糖。分枝酶或 Q-酶催化支链淀粉中 α-1,6-键的形成。

叶绿体经 RPPP 固定 CO<sub>2</sub> 还原形成的 TP 透过叶绿体的被膜在细胞质中经部分糖酵解作用的逆

\* 收稿日期: 2003-10-09

基金项目: 云南省烟草公司资助(99A13)

作者简介: 王怀珠(1971-),男,河南确山人,在读硕士,主要从事烟草生理生化研究。

转,TP经醛缩酶作用形成FBP,FBP经FBP磷酸脂酶作用形成F6P,F6P经P-葡萄糖异构酶作用转化为G6P,G6P经P-葡萄糖变位酶作用形成G1P,G1P与UTP(尿三磷)经UGP(UDPG焦磷酸化酶)作用形成UDPG(尿二磷葡萄糖)及PPi,绿色组织在光合作用时蔗糖的形成是通过UDPG与F6P经蔗糖-P合成酶作用形成蔗糖-P,蔗糖-P经蔗糖-磷酸脂酶作用形成蔗糖。

### 1.2 淀粉和蔗糖的相互转化

淀粉是烤烟叶片细胞光合作用产物的临时储藏形式,其储藏位置在叶绿体中。而蔗糖是细胞内的运输形式,其形成位置在细胞质中,二者在细胞中不停地进行转化。

细胞中当蔗糖浓度过低不能满足作物需要时,淀粉分解。由于淀粉是在质体(叶绿体和淀粉体)中,其不能直接透过质体膜形成蔗糖,因此,淀粉的降解在质体中进行,其产物G1P进一步转化为TP,经膜上的TPT(TP/Pi运转器)运出,葡萄糖则由六碳糖运转器运出,进而在细胞质中合成蔗糖<sup>[3]</sup>。

当细胞中蔗糖浓度除满足生命活动需要外还有多余,则蔗糖水解,其产物进入质体中合成淀粉,其转化途径可能有3条:(1)蔗糖在细胞质中水解为UDPG或ADPG和F(果糖),UDPG或ADPG在腺苷酸转运器作用下通过质体膜进入质体中合成淀粉。(2)UDPG或ADPG和F在细胞质中进一步转化为G6P然后通过己糖或磷酸己糖转运器运转透过质体膜进入质体中合成淀粉;(3)G6P转化为TP在磷酸丙糖转运器作用下通过质体膜进入质体中合成淀粉。

### 1.3 光合产物在蔗糖和淀粉之间分配的调控

#### 1.3.1 (3PGA)/(Pi)对光合产物分配的调控

目前已知<sup>[4]</sup>,TPT(TP/Pi运转器)催化磷酸丙糖和无机磷酸Pi的交换运转,在光合产物碳流的分配中起关键作用,TPT活性低时,蔗糖合成受阻,引起淀粉积累。TPT的活性直接受(3PGA)/(Pi)水平的影响,(3PGA)/(Pi)水平高时,TPT活性受到抑制。而淀粉合成的关键酶AGPase也受(3PGA)/(Pi)水平的影响,3PGA是AGPase的强激活剂,但Pi却强烈抑制AGPase活性。因此(3PGA)/(Pi)实际上调控着光合产物在淀粉和蔗糖之间的分配。

#### 1.3.2 F<sub>2,6</sub>-P<sub>2</sub>对淀粉和蔗糖分配的调控

F<sub>2,6</sub>-P<sub>2</sub>(果糖-2,6-二磷酸)存在于细胞质中,能抑制蔗糖合成的关键酶FBPase,但对蔗糖分

解的酶PFK(磷酸果糖激酶)无影响<sup>[5,6]</sup>。在细胞质中,F<sub>2,6</sub>-P<sub>2</sub>是由F6P-2K(ATP-F6P-2磷酸酶)合成,而由F<sub>2,6</sub>P<sub>2</sub>ase(果糖-2,6-二磷酸脂酶)降解<sup>[7]</sup>。F6P及Pi活化F6P-2K,而3PGA及TP抑制该酶。F6P及Pi是F<sub>2,6</sub>P<sub>2</sub>ase的抑制剂。

当光合碳同化产物TP与细胞质Pi对等交换,TP抑制F6P-2K活性使(F<sub>2,6</sub>-P<sub>2</sub>)降低,促进胞质型FBPase催化利用光合产物合成蔗糖;反之,蔗糖水平较高时,(Pi)及(F6P)水平也较高,结果F6P-2K激活而F<sub>2,6</sub>-P<sub>2</sub>ase抑制,从而使(F<sub>2,6</sub>-P<sub>2</sub>)水平升高,抑制FBPase活性,限制蔗糖合成而有利于淀粉的积累。因此,F<sub>2,6</sub>P<sub>2</sub>对FBPase活性的调节最终表现为调控光合产物在蔗糖和淀粉之间的分配。

## 2 影响烤烟叶片淀粉含量的主要因素

### 2.1 烤烟品种

烤烟品种不同,其光合性能、耐肥水平各异。邓云龙<sup>[8]</sup>等研究了云南大田生产中普遍种植的烤烟品种红大和K326,发现大田中后期中部叶片淀粉积累动态相同,但积累量有显著差异。红大成熟时淀粉积累高达40%左右,而K326仅为25%左右。

### 2.2 施肥水平

合理施氮主要是有效协调烤烟的碳氮代谢。烤烟在生长发育和成熟过程中,协调的碳氮代谢应表现为氮代谢逐渐减弱,碳的积累代谢逐渐增强,而碳的固定和转化代谢减弱,使氮的还原代谢及时转进到碳的积累代谢。氮肥的施用既能保障前期的生长发育,合成一定的含氮化合物,又能保证后期烟株分层落黄成熟,积累一定的碳水化合物<sup>[9]</sup>。氮肥过量或不足对烤烟生长及品质都不利<sup>[10]</sup>。氮肥过量,烟株生长过旺,叶色变绿,难于落黄,氮的还原代谢时间过长,延缓成熟及淀粉积累;氮素严重缺乏时,生长缓慢,淀粉积累代谢提早,还原糖生成过多,蛋白质和烟碱含量低,叶色平滑颜色淡。大量研究表明<sup>[11,12]</sup>,烤烟叶片淀粉积累量与施氮量呈负相关,随施氮量增加,淀粉积累推迟且积累量减少。

细胞中(Pi)水平过低会抑制TPT活性,使TP从质膜中运出受阻,从而抑制蔗糖合成,造成淀粉积累量相应增加,这可在一定程度上解释缺磷时会导致叶片淀粉增多。另外,磷是细胞内磷酸腺苷、糖脂、磷脂、核酸及含磷辅酶等的重要组成部分。

磷素参与烟株体内的能量代谢、碳水化合物代谢、氮代谢及物质运输方面都起重要作用。磷对烟株早期生长的影响比对最终烤后烟叶的产量和质量的影响更明显。磷可明显缩短植株达到成熟的时间。磷与糖分含量呈正相关,但磷只有与氮适量配合,才能保证叶片中碳水化合物的积累,使烟叶的色泽和吸食品质得到改善。

钾肥可以促进烟株对养分的吸收利用,提高抗旱能力,促进烟株生长,提高烟叶中的含钾量,从而提高烤烟品质<sup>[13]</sup>。研究表明<sup>[14]</sup>,钾通常被吸附在原生质表面,对参与碳水化合物代谢的多种酶起激活作用,钾素营养对促进光合产物的合成、转化以及在“库”中的积累是密切相关的,增施钾肥能有效提高烟叶中水溶性糖的含量和糖碱比,协调好烟叶内主要化学成分的比例,改善烟叶品质。

### 2.3 采收成熟度

成熟度是烟叶质量的核心。烟草生产中的成熟度不是烟草生长发育阶段的范畴,而是处于烟叶生理成熟向衰老转化中的一个阶段。烤烟成熟度不同,其干物质积累、内在化学成分转化、烘烤特性及烤后化学成分不同。充分成熟的烟叶其内在化学组成已达到调制加工所要求的最佳状态。许多研究表明<sup>[15,16]</sup>,烟叶成熟时,许多香气物质如挥发油、树脂、茄酮、 $\beta$ -大马酮、2-呋喃甲醛等已达最高,此时采收烘烤效应较好,烟叶内部的生理生化变化更充分的发生,烤后化学成分转化充分,香吃味较好。贾琪光等<sup>[17]</sup>研究表明,烟叶中的淀粉含量随烟叶发育而积累,至工艺成熟时达高峰,之后分解,含量降低,此时采收烟叶已充分成熟,烘烤特性较好,烘烤中淀粉转化充分,烤后淀粉含量低,而还原糖相应增加,因而有利于香吃味提高。凌寿军等<sup>[18]</sup>的研究则表明,下部叶在淀粉含量最大后第 1~2 d 内采收,中部叶在淀粉含量最大后第 4~5 d 内采收,上部叶在淀粉含量最大后第 6~7 d 内采收,顶叶 4~6 片再延长 2~3 d 采收,可获得最佳产质量。

### 2.4 烘烤措施

烟叶烘烤是在人为控制的温湿度环境下加速烟叶的亡老过程。在这个过程中如何通过温湿度调控使其与烟叶内部的生理生化变化协调一致,向着提高烟叶香吃味方向发展是科学烘烤的核心。烘烤过程是淀粉等不利于香吃味的大分子化合物分解为有利于香吃味的小分子化合物迅速变化的

过程。大量研究表明<sup>[19,20]</sup>,烘烤过程中淀粉等生物大分子迅速降解,而还原糖等小分子化合物迅速增加。淀粉水解主要集中在烘烤的 72 h 内,尤其以 48~72 h 间水解量最大。72 h 后,仍有少量淀粉水解。而烟叶还原糖的积累受淀粉分解的影响,其含量在 72~96 h 才达到高峰,之后,还原糖因淀粉分解趋于彻底,呼吸作用继续消耗而逐渐降低。不同烘烤处理相比较,以低温慢烤慢变黄水解时间较长,淀粉分解较彻底;高温快烤快变黄水解时间较短,烤后淀粉含量较高<sup>[21~23]</sup>。淀粉酶活性在烘烤过程中逐渐升高,于 36 h 前后达一高峰,随后降低,淀粉酶活性高时,淀粉分解快,且淀粉降解同色素降解呈极显著正相关<sup>[24]</sup>。

### 2.5 发酵

经调制后的烟叶,通常含 5% 左右的淀粉以及 10%~20% 的可溶性糖。在发酵过程中,由于酶的催化作用,烟叶内部发生强烈化学作用的结果,使总碳水化合物减少,但淀粉含量变化较少。自然醇化和人工发酵相比较,由于自然醇化过程烟叶中淀粉等不利于香气与吸味品质的大分子化合物及香气前体物发生了充分的降解与转化,而有利的香气成分得以大量的合成与积累,因而使烟叶的香气与吸味品质较人工发酵烟叶有较大幅度的提高<sup>[25]</sup>。

李晓等<sup>[26]</sup>采用酶解的方法,探索了烟叶在人工发酵过程中淀粉降解的最佳条件。他们在一定条件下向烟叶中施加一定量的  $\alpha$ -淀粉酶和糖化酶,使烟叶中的淀粉降解为水溶性糖。结果表明: $\alpha$ -淀粉酶/糖化酶的最佳用量为(8  $\mu$ /g)/(80  $\mu$ /g),可降解原烟中的淀粉 80%,烟叶中水溶性糖增加 21.4% 左右。最佳作用条件为:烟叶水分 25%,酶的作用时间为 6 h,作用温度 30  $^{\circ}$ C,且在真空破膜条件下效果更显著。利用  $\alpha$ -淀粉酶和糖化酶把烟叶中的淀粉转化为水溶性总糖是提高卷烟质量的有效手段之一。经专家对加酶前后的河南 B<sub>3</sub>F 烟叶进行对比评吸,结果认为:经酶处理后的烟叶香气质较好,杂气变小,刺激性减轻,烟气甜度增加,余味变好,劲头有所降低,烟叶总体质量得到了提高。

## 3 淀粉及代谢产物对烤烟香吃味的影响

### 3.1 淀粉对烤烟香吃味的影响

初烤烟叶中残留的淀粉是对烟叶色香味不利的化合物,严重影响着烟叶的外观和内在品质以及

卷烟的香吃味。卷烟中淀粉含量过高,一方面会影响燃烧速度和燃烧的完全性;另一方面燃吸时淀粉会产生焦糊气味,产生刺激性和杂气,对香吃味有不良影响。国外优质烤烟淀粉含量约为1%~2%,我国烟叶淀粉含量约为4%~6%,淀粉残留过高直接影响着我国烤烟品质<sup>[27]</sup>。

原烟中淀粉含量过高是由于在调制过程中淀粉转化不完全造成的,因此,在调制过程中应尽可能使烟叶内含的淀粉转化为水溶性糖,达到增加香气,改善吃味的目的。

### 3.2 淀粉代谢产物对烤烟香吃味的影响

烟叶经调制、发酵后,淀粉大多转化为小分子碳水化合物,这些小分子碳水化合物参与调节烟气酸碱平衡,对烟气醇和性与芳香性具有重要作用。一般认为,品质好的烟叶,水溶性糖尤其是还原糖的含量也较高,随着还原糖含量增加,香气变纯,刺激性减轻,杂气变小。调制后的烟叶,由于淀粉等高分子碳水化合物在调制过程中大量水解,积累较多还原糖。但还原糖含量过高,破坏烟气酸碱平衡,香气量减少,劲头不足,烟味平淡,从而影响吸味品质。如若还原糖含量过低,含氮化合物相应增加,不仅使烟气粗糙,产生焦糊气味,而且燃吸时会产生大量有害气体,如氧化氮、酚类、苯类<sup>[28]</sup>。因此,烟叶中水溶性糖类与含氮化合物之间的平衡,不仅能保持适当的生理强度和浓度,而且可以提高卷烟产品的香吃味水平。

### 3.3 美德拉反应产物对烤烟香吃味的影响

美德拉反应是烟草在调制、发酵、加工及燃吸过程中产生的氨基酸与糖类发生非酶棕色化反应,生成的一系列致香物质。这些物质包括低级羰基化合物、低级脂肪酸、呋喃类、吡嗪类以及吡咯类衍生物等,他们发生复杂的相互作用后,赋予烟草以甜焦糖味的同时也增加烟感量,对烤烟香吃味的形成非常重要。尤其是由此而形成的呋喃类成分对烟气香吃味起重要的作用,同时它也促使烟叶颜色加深。

据 NOGUCHI M 等人的研究<sup>[29]</sup>,烤烟中美德拉反应在调制的干燥阶段进行较快,调制后该产物可达2%。在自然陈化过程中梅德拉反应产物在2年时达最大,随后逐渐减少<sup>[30]</sup>。WAHLBERG I 等人研究表明<sup>[31]</sup>,烤烟在调制和陈化过程中,糠醇及衍生物在醇化6个月时达最大,几种吡咯、吡嗪类化合物调制时产生并在陈化时逐渐增加。有资料表

明,烤烟中最大的美德拉反应产物是葡萄糖和脯氨酸形成的1-L-脯氨酸-1-脱氧-D果糖被公认为是香吃味的重要成分<sup>[32]</sup>。

### 3.4 淀粉及代谢产物燃吸后形成的化学成分对香吃味的影响

烟叶中的淀粉及水溶性糖,在燃吸高温条件下,大部分氧化成CO<sub>2</sub>和CO,少部分高温热解生成新的产物,如醛类、酚类、酮类、呋喃类、烃类等化合物。

糖类化合物热解呈酸性反应,产物中除CO<sub>2</sub>能溶于水呈酸性反应外,还有一些含氧杂环化合物,如糖醛、糖醇及其衍生物等,其中糖醛能与氨及胺类物质反应,从而使烟气的碱性降低,同时还能产生一些具有香气成分的物质,使烟气吃味醇和芳香。

碳水化合物燃吸时也可产生较多的乙醛和丙烯醛等低分子醛类有害气体,这些物质使烟气带有刺激性,对香吃味形成不利。另外,烟叶中糖含量与烟气焦油量间有显著相关性,随糖含量增加,焦油量显著增加<sup>[33]</sup>。

总之,淀粉是烤烟叶片大田生育期间积累的重要产物。烤烟叶片在大田生育期间积累一定的淀粉是必要的,但在调制过程中又要尽可能的分解掉,使之与含氮化合物有一定的协调,以利于卷烟产品香吃味质量的提高。通过合理的工艺措施如低温慢烤、自然陈化、筛选优势微生物菌种、利用酶学成果等促使烟叶中淀粉等生物大分子转化为有利于香吃味水平提高的小分子化合物必将日益受到重视。

### [参 考 文 献]

- [1] 熊福生,高煜珠,詹勇昌,等. 植物叶片蔗糖、淀粉积累与其降解酶活性关系研究[J]. 作物学报,1994,1(1):52-58.
- [2] 宫长荣,王能如,汪耀富. 烟叶片烘烤原理[M]. 北京:科学出版社,1994.
- [3] SCHAFFER S P. Biochemical mechanism for regulation of sucrose accumulation in leaves during photosynthesis[J]. Plant physiol., 1977, (7):139.
- [4] HELDT H W, RAPLEY L. Specific transport of inorganic phosphorus, 3-phosphoglycerate and of dicarboxylates across the inner membrane of spinach chloroplasts[J]. FEBS Lett, 1970, (7):139.
- [5] PREISS J. Regulations of the biosynthesis of starch in spinach leaf chloroplasts[J]. Trends Biochem. Sci., 1984, (9):24

- [6] CSEKES C. The purification and properties of sucrose - phosphorus synthetase from spinach leaves: the involvement of this enzyme and fructose biophosphatase in the regulations of sucrose biosynthesis[J]. Trends Biochem. Sci., 1984, (9):533.
- [7] STITT M. Fructose-2, 6-bisphosphate as a regulatory molecule in plants[J]. Annu. Rev. Plant Physiol Plant Mol. Biol, 1990, 41: 153 - 185.
- [8] 邓云龙, 孔光辉, 武锦坤, 等. 氮素营养对烤烟叶片淀粉积累及 SPS, 淀粉酶活性的影响[J]. 烟草科技, 2001, (11):34 - 37.
- [9] WEYBREW J A. The cultural management of flue-cured tobacco quality[J]. Tobacco International, 1983, (10): 82 - 87.
- [10] GOENAGA R J, VOLK R J, LONG R C. Uptake of nitrogen by flue-cured tobacco during maturation and senescence[J]. Plant and Soil, 1989, (1):133 - 139.
- [11] 史宏志, 韩锦峰, 赵鹏, 等. 不同氮量与氮源下烤烟淀粉酶和转化酶活性动态变化[J]. 中国烟草学报, 1999, (3):5 - 8.
- [12] 董惠萍. 不同施肥量对烤烟烟叶氮碳代谢的影响[J]. 云南农业大学学报, 1992, 7(4):237 - 243.
- [13] 茆寅生, 申国明, 刘好宝, 等. 烤烟各期供钾量与烟叶含钾量的关系[J]. 土壤肥料, 1989, (6):15 - 18.
- [14] 罗建新, 萧汗乾, 方红, 等. 钾肥施用量与施用期对烤烟产量和品质的影响[J]. 湖南农业大学学报, 1997, 23(2):132 - 136
- [15] 王瑞新, 马常力, 韩锦峰, 等. 烟叶香气物质成分与成熟度的关系[J]. 烟草科技, 1991, (4):25 - 28.
- [16] LONG R C, WEYBREW J A. Major chemical changes during senescence and curing[J]. Rec. Adv. Tob. Sci., 1981, (7):48.
- [17] 贾琪光, 官长荣. 烟叶生长发育过程中主要化学成分含量与成熟度关系的研究[J]. 烟草科技, 1988, (6):40
- [18] 凌寿军, 王军, 邱妙文, 等. 推迟采收对烤烟淀粉含量及产质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2001, (4):29 - 31.
- [19] BACON C W, WENER R. Chemical changes during flue-curing[J]. Ind. Chem., 1977, 44:292.
- [20] LOVETT W J, MAY L H. Metabolism of tobacco leaves during flue-curing[J]. Aust. J. Sci., 1978, 20(8):237.
- [21] 官长荣, 孙福山, 汪耀富, 等. 烟叶烘烤中不同变黄温度对某些生理生化特性的影响[J]. 中国烟草科学, 1998, (2):6 - 7.
- [22] 赵铭钦, 官长荣, 王瑞华, 等. 不同烘烤条件下烟叶中有机物质含量变化的研究[J]. 河南农业大学学报, 1996, 30(3):227 - 231.
- [23] 杨立钧, 官长荣, 陈江华, 等. 烘烤过程中烟叶淀粉含量及烤后化学成分分析[J]. 河南农业大学学报, 2001, (2):152 - 155.
- [24] 官长荣, 袁红涛, 陈江华. 烤烟烘烤过程中烟叶淀粉酶活性变化及色素降解规律的研究[J]. 中国烟草学报, 2002, (2):16 - 20.
- [25] 朱大恒, 韩锦峰, 张爱萍, 等. 自然醇化与人工发酵对烤烟化学成分变化的影响比较研究[J]. 烟草科技, 1999, (1):3 - 5.
- [26] 李晓, 刘凤珠, 姜凌, 等. 淀粉类酶在烤烟中降解条件的研究[J]. 生物技术, 2001, 11(12):44 - 46.
- [27] 张槐苓, 葛翠英, 穆怀静, 等. 烟草分析与检测[M]. 郑州:河南科学技术出版社, 1994.
- [28] 金文博, 戴亚. 烟草化学[M]. 北京:清华大学出版社, 1994.
- [29] NOGUCHI M. Studies on storage of leaf tobacco part IX. changes in the content of amino-sugar compounds during aging[J]. Agri. Biol. Chem., 1971, 35(1):65 - 70.
- [30] WOLF F A. The chlorophyll content of certain flue-cured and Turkish tobacco varieties[J]. Agron, 1985, 47:8.
- [31] WAHLER I. Effects of flue-curing and aging on the volatile, neutral and acidic constituents of Virginia tobacco[J]. Phytochemistry, 1977, 16:1 217 - 1 231.
- [32] LEFFINGWELL J C. Chemical and sensory aspects of tobacco flavor: An overview[J]. Rec. Adv. Tob. Sci, 1988, 14:169.
- [33] 肖协忠, 李德臣, 郭承芳, 等. 烟草化学[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1997.