

## 冬虫夏草人工培植的研究概况

刘 飞, 伍晓丽, 陈仕江, 尹定华, 曾 伟, 钟国跃

(重庆市中药研究院, 重庆 400065)

**摘 要:**概述了冬虫夏草菌种的繁殖、虫种的繁育、菌和虫的结合以及冬虫夏草代用品的研究现状;探讨了人工培植冬虫夏草 2 种模式的优、缺点;提出了目前冬虫夏草人工培植存在的问题和未来的发展方向, 以为研究冬虫夏草的人工培植提供理论参考。

**关键词:**冬虫夏草; 人工培植; 药用真菌

**中图分类号:** R282. 21

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-2670(2007)02-0302-04

Advances in studies on artificial culture of *Cordyceps sinensis*

LIU Fei, WU Xiao-li, CHEN Shi-jiang, YIN Ding-hua, ZENG Wei, ZHONG Guo-yue

(Chongqing Academy of Chinese Materia Medica, Chongqing 400065, China)

**Key words:** *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc.; artificial culture; medicinal fungus

冬虫夏草系我国特有的珍稀名贵中药材, 是冬虫夏草菌 *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc. 寄生于蝙蝠蛾科昆虫幼虫而形成的子座及幼虫尸体的复合体, 主产于我国四川、青海、云南、西藏和甘肃等省区。自 20 世纪 90 年代以来, 随着人们对冬虫夏草需求的增加, 市场供需矛盾日益突出, 同时由于其自然资源日趋匮乏, 已濒临灭绝, 属国家二级野生药用保护植物。多年来冬虫夏草人工繁育一直是中药资源保护与再生领域的研究热点。

自 20 世纪 70 年代末期开始, 全国先后有数十家单位对冬虫夏草的人工培植进行过研究, 迄今为止在冬虫夏草菌、寄主昆虫、人工培植等方面均取得了不同程度的进展。本文就冬虫夏草人工培植的研究现状及存在的问题做一概述, 以为冬虫夏草的人工培植提供理论参考。

## 1 冬虫夏草菌的研究

冬虫夏草作为一种复型真菌, 其有性型为冬虫夏草菌, 但有关其无性型的研究近 20 年来一直是国内中药界、真菌界研究的一个热点。自 1983 年沈南英等率先从青海虫草子实体上分离出一种在固体培养基上可多次形成类似于自然状态下虫草子座的冬虫夏草头孢 *Cephalosporium sinensis* Chen sp. nov. 以来, 陈庆涛等分别从四川、云南、青海不同产地的冬虫夏草中采用不同手段和方法分离得到了中华拟青霉 *Paecilomyces sinensis* Chen, Xiao et Shi, sp. nov.、中国弯颈霉 *Tolypocladium sinensis* C. Lan Li 等 16 种与冬虫夏草无性型有关的真菌<sup>[1]</sup>。因此一些学者认为冬虫夏草有可能是由两种或两种以上的无性型菌种在同一寄主上共生而成。

尽管目前国内已发现多个与冬虫夏草无性型有关的真菌, 但利用微循环产孢法<sup>[2]</sup>, 运用柯赫氏法则进行理化成分相似性

鉴别<sup>[1]</sup>以及应用分子生物学<sup>[3]</sup>等方法验证的结果表明, 在多个冬虫夏草无性型的分离报道中, 中国被毛孢 *Hirsutella sinensis* Liu, Guo, Yu et Zeng, sp. nov. 可以确证是冬虫夏草的真正无性型, 而沈南英等<sup>[4]</sup>发表的冬虫夏草头孢和中华束孢 *Synnematium sinensis* Yin & Shen 均为其异名。重庆市中药研究院利用从冬虫夏草中分离的中国被毛孢接种蝙蝠蛾幼虫获得成功, 并将感菌幼虫在人工饲养条件下培植出与天然冬虫夏草在生药、化学成分等方面一致的冬虫夏草, 这也从根本上证明了中国被毛孢为冬虫夏草真正的无性型。

在人工培植冬虫夏草过程中, 获得致病力强、侵染率高的菌种对提高冬虫夏草的产量、质量及降低成本均有重要意义。生产上常采用多级制种和一级制种, 这两种方法均可获得具有侵染力的菌种。但是, 多级制种方法技术操作复杂, 用于实际生产还有大量的问题要解决, 而一级制种相比之下用于实际生产就较为合适。

## 2 冬虫夏草寄主蝙蝠蛾的研究

## 2.1 寄主蝙蝠蛾的分布及种类

2.1.1 蝙蝠蛾的分布: 冬虫夏草寄主蝙蝠蛾分布于我国青藏高原一带, 其分布具有区域分布和垂直分布的特点。它的每一种群在我国都有特定的地理位置和分布格局; 蝙蝠蛾的垂直分布范围较大, 在 2 200~5 000 m 都有, 而以 4 000 m 左右分布最多, 其中尤以西藏垂直分布的范围最大, 四川和云南垂直分布范围接近, 青海和甘肃的垂直分布范围较窄<sup>[5~7]</sup>(表 1)。研究发现寄主昆虫除成虫外的其他虫态都营土栖生活, 其生态分布与地形、地貌、海拔、气候、植被、土壤等众多因素有关, 尤其与土壤小气候和食物分布关系最为密切, 蝙蝠蛾几乎都分布在高山草甸、亚高山草甸或高寒灌丛

表 1 冬虫夏草寄主昆虫的地理和生态分布特点

Table 1 Character of geographic and ecological distribution of *C. sinensis* host insect

省份	海拔高度/m	植被类型	土壤类型
四川	3 000~5 000	高山、亚高山草甸	高山草甸土
云南	3 200~5 200	高山草甸	高山草甸土
青海	3 400~5 100	高山草甸、高寒灌丛	高山草甸土
西藏	2 200~5 000	高山草甸	高山草甸土
甘肃	3 000~3 600	高寒草甸	亚高山草甸土

中,栖息土壤类型多为高山草甸土或亚高山草甸土<sup>[7]</sup>。

2.1.2 蝙蝠蛾的种类:1940年,英国昆虫学家 Read 把冬虫夏草寄主误定为 *Hepialus virescens* Dbe.。在这之后的 10 年左右有关冬虫夏草寄主昆虫的研究一直是空白。国内在新中国成立后,中国科学院动物研究所等单位才先后开展了对冬虫夏草寄主昆虫种类的研究<sup>[1]</sup>。到目前为止,国内在冬虫夏草产区共发现并鉴定蝙蝠蛾属昆虫达 50 余种,其中四川发现 12 种、云南发现 20 种、青海发现 9 种、西藏发现 14 种、甘肃发现 3 种;另外在产区还发现少量种类的种类蝙蝠蛾属、二岔蝙蝠蛾属、双栉蝙蝠蛾属、丽蝙蝠蛾属昆虫,这些昆虫也可能与冬虫夏草的寄主有关<sup>[8]</sup>。由于冬虫夏草寄主昆虫诸多分布地人们尚未涉足,按照冬虫夏草寄主昆虫的分布特点和现有的冬虫夏草寄主分类模式及方法,将会有更多的寄主昆虫种类被发现。

2.2 寄主蝙蝠蛾的生物学特性<sup>[9-19]</sup>:冬虫夏草寄主蝙蝠蛾是全变态昆虫,具有卵、幼虫、蛹和成虫 4 个虫态。它具有如下生物学特征:①从各地卵的研究报道来看,温度在 10℃ 以上的保湿孵化条件下,四川、云南、青海和甘肃的卵历期都在 30~40 d,西藏那曲地区在自然条件下的历期在 70 d 左右,各地的卵孵化率都在 80% 以上,卵壳从卵产出到孵化都要经历由白色到黑色的变化。②寄主昆虫的整个幼虫阶段都受到多种天敌的危害,在自然界幼虫存活率通常不到 10%。寄主蝙蝠蛾幼虫为杂食性昆虫,幼虫在生长的同时,头壳从孵化时的乳白色到老熟幼虫时会变成淡红色或深黄色。各地幼虫龄期在 6~8 龄,历期随龄期的不同而有差异。幼虫在自然界成聚集分布,大多集中在 5~25 cm 的土层中活动。③各产区的蝙蝠蛾蛹期大都在每年的 6~7 月,当温度在 10~15℃、湿度在 40%~50% 时蛹的历期约 40 d 左右。蛹每天的羽化高峰期随海拔高度的不同而有差异。蝙蝠蛾从预蛹到羽化的颜色变化规律是由浅色到深色。④多数产地的蝙蝠蛾成虫性比都是雌性的数量要大于雄性的数量。交尾高峰随生长海拔高度的不同而有差异。雌成虫多数交配一次,而雄成虫多数能交配 2~3 次,西藏成虫交配的时间最长,达 100 多分钟,是其他已报道交配时间的 2 倍左右。成虫从交配到产卵的时间间隔在 5~40 min,交配有利于雌虫产卵。产卵高峰和交配高峰一样,都与生长海拔高度有关。雌成虫每次产卵 5~45 粒不等,均散产。成虫完成产卵后不久就死亡。雌成虫的寿命比雄成虫的寿命长。

### 2.3 寄主蝙蝠蛾的人工饲养研究

2.3.1 饲料:蝙蝠蛾幼虫在自然条件下入土打隧道取食,温度是决定它在土中活动深浅的主要生态因子。在室内规模化

饲养中,对多种饲料进行了研究,选择出的天然食物不仅取材容易、能满足幼虫的营养条件,不改变其筑隧道生活习性,而且食料便于消毒,又能加快幼虫生长<sup>[20]</sup>。

2.3.2 温度:幼虫一般在 8~15℃ 均能正常生长,高于 18℃ 幼虫表现出多动、焦躁不安的状态,不能正常生长;低于 8℃ 取食活动减少,生长缓慢,幼虫生长温度不能低于 0℃。适当提高生长环境的温度,能加快幼虫生长速率,缩短历期<sup>[20]</sup>。

2.3.3 湿度:生长环境湿度太大幼虫容易发病致死,过干则造成幼虫大量吐丝,虫体缩小,逐渐死亡,过干过湿均不宜脱皮。一般人工饲养环境相对湿度控制在 40%~50% 为宜<sup>[20]</sup>。

2.3.4 病、虫害:病害主要是真菌引起的,如绿僵菌病害、拟青霉病害、白僵菌病害和红僵菌病害等<sup>[21]</sup>。虫害主要是线虫、螨和作为病害传媒的蚊虫。为了保证幼虫的存活率,对幼虫的食物、生长空间要进行定期消毒、杀菌处理。到目前为止,各种病、虫害在全面性的综合防治措施下已基本得到控制。

### 3 冬虫夏草菌接种寄主幼虫的研究

1989 年杨跃雄等<sup>[22]</sup>的研究表明,在每年的 8 月上旬以 4~5 龄期蝙蝠蛾幼虫感染率最高,老熟 6 龄幼虫很少被感染,3 龄以下幼虫不被感染。感染适期内的土壤结构、土壤温湿度、大气温度影响幼虫的感染。曾纬等<sup>[23]</sup>研究浸染过程发现,冬虫夏草菌侵染进入寄主幼虫血体腔后,断裂形成长梭形的菌体。菌体以顶端出芽的方式增殖,分隔分化,互相质配。质配菌体生长出菌丝充满寄主幼虫血体腔,使幼虫死亡并形成僵虫形的菌核,菌核萌生子座即形成冬虫夏草。喻永信<sup>[20]</sup>用冬虫夏草无性型——中华被毛孢子悬浮液添加于饲料或直接接种幼虫等多种方式,发现中华被毛孢子既可以从寄主昆虫表皮侵入体内,也可从口腔侵入,是活性寄生。菌丝侵染幼虫体后需要生长一定的时间,当虫体表皮内充满菌丝体后,从头部生出子座。重庆市中药研究院在 20 世纪 80 年代通过对冬虫夏草侵染蝙蝠蛾幼虫机制的系统研究,已经掌握了冬虫夏草接种寄主幼虫的技术,接种后幼虫感菌率达 90% 以上。

### 4 冬虫夏草人工培植的模式研究

4.1 全人工培植冬虫夏草模式:全人工培植模式整个过程都在人工条件下进行。对冬虫夏草菌种和虫种分别进行室内人工繁殖后再进行人工接种,将感菌幼虫放在室内进行人工饲养,1~2 年后可在室内培植出冬虫夏草。全人工培植模式不仅可提高幼虫的存活率,而且可缩短冬虫夏草在自然条件下的生育期。全人工培植模式的不足之处是所需的成本较高。

4.2 半野生抚育培植冬虫夏草模式:对冬虫夏草菌种和虫种分别进行室内人工繁殖后再进行人工接种,待幼虫感菌后将幼虫放归自然生境下自由生长,3~5 年后在放生地培植出冬虫夏草。半野生抚育方式可充分利用天然生态资源,降低人工培植冬虫夏草的成本。但是半野生抚育方式在把感菌幼虫放归自然生境后的成活率不稳定,受到天气等因素的影响。

迄今为止,国内先后有青海畜牧兽医研究院、中国科学院昆明动物研究所、浙江省中药研究所、重庆市中药研究院等 4 家单位在人工条件下培植出冬虫夏草的报道,但仅有重

庆市中药研究院对冬虫夏草人工培植的两种模式进行了系统研究,培植出了与天然冬虫夏草在化学成分、药理学、生药学等方面无差异的人工冬虫夏草,并总结出了两种培植模式的标准操作规程(SOP),目前正在进行人工培植冬虫夏草高技术产业化示范工程建设。

### 5 冬虫夏草代用品研究现状

在冬虫夏草天然资源远远不能满足市场需求的情况下,寻找冬虫夏草的代用品就成为解决资源匮乏的一条有效途径。为此,国内外都在积极探索冬虫夏草的医用价值和人工培植技术。从 20 世纪 50 年代开始,美国、日本、意大利先后从冬虫夏草中分离出多种真菌,中国医学科学院药物所从 1972 年开始从各地收集分离冬虫夏草菌种。到目前为止,我国比较有代表性的工业化发酵生产的冬虫夏草代用品有 5 个,分别是金水宝胶囊、至灵胶囊、心肝宝胶囊、百令胶囊及宁心宝胶囊。从药理研究来看,他们所用的方法、材料、结论大致相同,即冬虫夏草的代用品与天然冬虫夏草在化学成分和药理作用上均相似<sup>[24]</sup>。

### 6 人工培植冬虫夏草存在的问题及发展趋势

重庆中药研究院在系统研究全人工室内培植冬虫夏草和半野生抚育培植冬虫夏草两种模式成功的基础上,进行的人工培植产业化示范工程建设也已取得了一定成效。在未来的人工培植冬虫夏草研究中,主要应开展产业化过程中的技术优化工作。具体包括如下几方面。

6.1 筛选优质虫种种质资源:优质种质资源的选育是生物居群扩繁与改良的必然手段。冬虫夏草寄主种类的多样性为筛选优质虫种种质资源提供了条件,同时,各主产地寄主昆虫的生物学特性差异又为选择优质的虫种资源打下了基础。目前,要实现低成本的规模化生产,就寄主昆虫而言,筛选优质的虫种种质资源将是必然的发展方向。

6.2 筛选优质菌种种质资源:就现有研究水平和生产状况来看,中国被毛孢将是冬虫夏草人工培植过程中无性型的首选,是实际生产用菌种的主要来源。然而,在大规模生产过程中,由于菌种原因所引发的问题日益突显。要培育出更适合产业化的菌种,首先就要广泛收集冬虫夏草不同产地的中国被毛孢菌种,再运用物理、化学以及基因工程等现代育种技术,选育出生长速度快、产孢量大、侵染力强的中国被毛孢菌株。

6.3 人工饲料的研制:寄主幼虫是一种多食性的资源昆虫。随着人工培植冬虫夏草规模的扩大,幼虫所需的植食性饲料也将会大量增加,由此对生态系统的破坏将会加大。因此,采用人工饲料来代替天然饲料将具有重要意义。对冬虫夏草寄主幼虫人工饲料的筛选是人工饲料研究工作的开端,重庆市中药研究院在这方面已积累不少经验,但也有许多问题尚待解决,如食用人工饲料的幼虫在生长发育和繁衍后代方面是否有变异或退化,抑制饲料中的杂菌生长和延缓饲料的腐烂变质等有待进一步研究。

6.4 人工基质的研制:冬虫夏草寄主昆虫大部分时间都在高山草甸土壤或亚高山草甸土壤基质内生活,在低海拔室内人工培植过程中,虽能成功培育冬虫夏草,但存在着基质运输

远、价格昂贵、易滋生病原菌等优点,而且对生态环境造成一定的破坏。因此,研制价廉易得的替代基质就具有重要意义。

目前,重庆市中药研究院进行的冬虫夏草人工培植产业化生产在四川康定已初具规模,冬虫夏草人工培植产业化的主要技术环节——菌种繁育、寄主昆虫繁殖、幼虫饲养、菌虫接种、冬虫夏草有性阶段培育等关键技术的优化研究已取得多项突破和创新,并达到了一定的饲养规模,冬虫夏草人工培植产业化、规模化生产在不久的将来将成现实。

### References:

- [1] Chen S J, Yin D H, Li L, et al. Studies on anamorph of *Cordyceps sinensis* (Berk) from Naqu Tibet [J]. *China J Chin Mater Med* (中国中药杂志), 2001, 26(7): 453-454.
- [2] Mo M H, Chi S Q, Zhang K Q. Microcycle conidiation of *Cordyceps sinensis* and anamorph isolation [J]. *Mycosystema* (菌物系统), 2001, 20(4): 482-485.
- [3] Li Z Z, Huang B, Fan M Z. Molecular evidence for anamorph determination of *Cordyceps sinensis* (Berkely) Sacc. I. Relation between *Hirsutella sinensis* and *C. sinensis* [J]. *Mycosystema* (菌物系统), 2000, 19(1): 60-64.
- [4] Jiang Y, Yao Y J. Anamorphic fungirelated to *Cordyceps sinensis* [J]. *Mycosystema* (菌物系统), 2003, 22(1): 161-176.
- [5] Yang D R, Li C D, Shu C, et al. Relationship between alpine meadow vegetation and *Hepialus moths* distribution [J]. *Southwest China J Agric Sci* (西南农业学报), 1992, 5(2): 68-73.
- [6] Yang D R, Long Y C, Shen F R, et al. Research on the ecology of Yunnan *Hepialids*—I. Regional and ecogeographical distribution [J]. *Zoollog Res* (动物学研究), 1987, 8(1): 1-11.
- [7] Yang D R, Li C D, Shu C, et al. Stuecies on the Chinese species of the genus *Hepialus* and their geographical distribution [J]. *Acta Entomol Sin* (昆虫学报), 1996, 39(4): 413-422.
- [8] Chu H F, Wang L Y, Han H X. *Fauna Sinical Insecta* (中国动物志) [M]. Vol 38. Beijing: Science Press, 2004.
- [9] Gao Z X, Chen J, Yu H, et al. Study on the main host swiftmoth, *Hepialus oblifurcus* Chu et Wang, of caterpillar Fungus, *Cordyceps sinensis* (Berkeley) Sacc. in Kangding [J]. *Acta Entomol Sin* (昆虫学报), 1992, 35(3): 317-321.
- [10] Gao Z X, Chen J, Yu H, et al. Studies on artificial culture of insect-herb—Research on the host swiftmoth (*Hepialts oblifurcus* Chu et Wang) of caterpillar fungus [*Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc.] in Kangding [J]. *J Zhejiang Agric Univ* (浙江农业大学学报), 1991, 17(1): 1-5.
- [11] Yin D H, Chen S J, Li L, et al. Study on the biological character of the host of *Cordyceps sinensis*, *Hepialus biru* in Tuibet [J]. *Special Wild Econ Anim Plant Res* (特产研究), 2004, 26(2): 1-5.
- [12] Huang T F, Fu S Q, Luo Q M. Biolumics of *Hepialus gonggaensis* from Kangding [J]. *Acta Entomol Sin* (昆虫学报), 1992, 35(2): 250-253.
- [13] Yan L. The taxonomical features of *Hepialus guidella* larva (Lepidoptera: *Hepialidae*) from Qinghai [J]. *J Qinghai Univ: Nat Sci* (青海大学学报:自然科学版), 2001, 19(1): 5-9.
- [14] Wang H S, Xu H F, Liu X, et al. Effect of temperature on hatch rate of *Hepialus ovum* [J]. *Chin Qinghai Anim Veter Sci* (青海畜牧兽医杂志), 1999, 25(5): 18.
- [15] Ma Q L, Wang Z, Ma F Q. The studies on the biological character of the host of the *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc. in Gansu [J]. *Gansu Agric Sci Technol* (甘肃农业科技), 1995, (12): 36-37.
- [16] Diao Z M. The preliminary studies on the resource and the biological character of the host of the *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc. in Qinghai [J]. *J Biol* (生物学杂志), 1996, 13(2): 20-22.
- [17] Yan L. Studies on spatial distribution pattern and sampling techniques of *Hepialus* larvae in Qinghai, China [J]. *Pratac Sci* (草业科学), 2001, 18(4): 57-59.
- [18] Yan L. The analysis on the main factors that affect the variation of the group of the *Hepialus gonggaensis* [J]. *Jiangsu Agric Sci* (江苏农业科学), 2001, 5: 66-68.
- [19] Wang Z, Ma Q L, Ma F Q, et al. The studies on the biological character of the *Hepialus menyuanensis*, which is the host of *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc. [J]. *Gansu*

- Agric Sci Technol* (甘肃农业科技), 2001, 7(1): 38-39.
- [20] Yu Y X. Studies on artificial culture of *Cordyceps sinensis* [J]. *J Fungal Res* (菌物研究), 2004, 2(2): 42-46.
- [21] Zeng W, Yin D H. Studies on *Metarrhizium muscardine* of *Cordyceps sinensis* host insect [J]. *Tradit Chin Med Sci Technol* (中国中医药科技), 1995 (2): 17.
- [22] Yang Y X, Yang D R, Shen F R, et al. Studies on *Hepialid* larvae for being infected by Chinese "Insect Herb" fungus; (*Cordyceps sinensis*) [J]. *Zool Res* (动物学研究), 1989, 10(3): 227-231.
- [23] Zeng W, Yin D H, Li Q S, et al. The growth of *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc. in the infection and parasitic phases [J]. *Mycosystema* (菌物系统), 2006, 25(4): 646-650.
- [24] Zhang Q M, Zhang J F. General situation on *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc. and its zymolysis [J]. *Shandong Ind Med* (山东医药工业), 1998, 17(1): 13-15.

## 提高青蒿素产量的生物技术研究进展

吴静, 丁伟, 张永强, 周宇杰

(西南大学植物保护学院, 重庆 400716)

**摘要:** 青蒿素是目前治疗疟疾的特效药, 主要来自于中药黄花蒿。由于自然资源有限, 人们试图通过各种栽培方法来获得高产量的青蒿素。对自青蒿素大量应用以来的获得高产青蒿素的生物技术研究进行了比较详尽的综述, 包括育苗栽培多次收割法、组织培养法、转基因克隆法。

**关键词:** 青蒿素; 高产; 多次收割; 组织培养; 转基因

**中图分类号:** R282.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0253-2670(2007)02-0305-04

### Advances in studies on biotechnology of getting high-yield artemisinin

WU Jing, DING Wei, ZHANG Yong-qiang, ZHOU Yu-jie

(College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400716, China)

**Key words:** artemisinin; high-yield; multi-harvest; tissue culture; transgene

黄花蒿 *Artemisia annua* L. 为菊科蒿属植物。从黄花蒿中提取的青蒿素是我国独有的抗疟新药。其对脑型疟、恶性疟、间日疟及抗氯喹株疟有高效、速效、低毒的特点<sup>[1]</sup>, 被国际卫生组织指定为抗疟疾中药。目前青蒿素虽然能够通过人工合成, 但是由于其成本高, 难度和毒性大, 未能投入工业化生产<sup>[2]</sup>, 所以青蒿素主要还是从我国天然黄花蒿中提取。以往人们注重以改善黄花蒿的生长环境, 如改善其光照条件、温湿条件、施用微量元素及生长素、密植、引种等方式来提高青蒿素在黄花蒿中的积淀。最近通过研究发现, 可以通过特殊的栽培、组织培养、转基因方式提高青蒿素产量。

#### 1 育苗栽培多次收割法

Kumars 等<sup>[3,4]</sup>报道青蒿素在黄花蒿体内的沉积量因黄花蒿的种类、生长发育时段及组织器官不同而变化。这是因为叶是光合作用的器官, 也是青蒿素主要的积累器官, 其中含青蒿素的量较高, 而茎中的量仅为叶的 10%。通常, 幼叶比老叶量高, 但是幼苗在越冬期的青蒿素量也低。在黄花蒿叶内, 青蒿素约从 3、4 月份渐渐开始合成和积累, 在 5、6 月开始升高, 在 8、9 月达到顶峰。正在开花的植株中, 青蒿素在叶中的量约占总量的 30%, 而在冠状花序中约含 40%, 根中的量在整个生长过程中都较低<sup>[4,5]</sup>。

不过冠状花序中由于瘦果油的出现导致青蒿素提取较

困难。植株在生活力较强时收割, 90% 的青蒿素聚集在叶和优质茎中, 是化学提取的最佳时期, 所以必须采用合适的栽培及收割方式才能很好地提高青蒿素的产量<sup>[5]</sup>。

为了提高青蒿素的产量, 首先要延长黄花蒿生长期。第一步得进行浸种催芽, 整地做垄, 播种施肥, 得到较早的幼苗。黄花蒿种子无休眠现象, 播种前不需特殊处理, 但可以进行浸种催芽以提高种子的利用率。要特别注意种子的净度, 种子净度对播种量有很大的影响。种子在光照条件下, 15~25℃ 时萌发。在选好的地上以每公顷 3~3.75×10<sup>4</sup> kg 有机肥施入地面, 然后翻耕土地, 做垄 20 cm。下种前 15 d 可用稀腐熟人类尿水对苗床进行淋施。种子同一定比例的细土混匀, 匀撒畦面, 播种后覆盖一层薄细土掩种, 再用喷雾器喷清水将苗床淋湿。为保温、保湿, 可用农用地膜将苗床覆盖, 如果条件允许可以在塑料大棚育种。苗期宜追施清淡人畜粪水, 也可追施一些氮肥, 以每公顷 90 kg 为宜, 出苗后要注意防旱保苗<sup>[6]</sup>。

通过大田移栽, 获得壮株, 并注意田间管理。应选择水源有保证的田地, 苗高 5~10 cm 时便可移栽, 移栽时选择阴雨天或晴天下午进行, 栽后淋足定根水。移栽按株行距 26.5 cm×26.5 cm 畦内挖穴, 每穴栽 1 株, 每公顷 1.13×10<sup>5</sup>~1.8×10<sup>5</sup> 株。许成琼<sup>[6]</sup>认为移栽时间一般为 3 月上旬, 而根