



智能科学技术著作丛书

协同进化计算与 多智能体系统

焦李成 刘 静 钟伟才 著



科学出版社

www.sciencep.com

智能科学技术著作丛书

协同进化计算与多智能体系统

焦李成 刘 静 钟伟才 著

国家自然科学基金重点项目资助

国家 863 计划资助

国家 973 计划资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者在自然计算领域中协同进化计算和多智能体系统研究方向上近几年研究成果的系统总结。在总结目前国内外该研究方向发展现状的基础上,本书着重介绍作者在这一方向的研究成果,主要包括:组织协同进化算法,协同进化多目标优化算法,智能体进化算法,宏智能体进化模型的构造、实现及其在大规模数据分类问题、SAT 问题、VLSI 布图规划问题、数值优化问题、组合优化问题、约束满足问题、约束布局优化问题、时延受限组播路由问题等领域中的应用。本书算法理论与应用实践并重,不但为相关协同进化计算和多智能体系统的研究者提供研究方法以资借鉴,而且更重要的是为计算智能的应用提供新的思路和方法。

本书可以为计算机科学、信息科学、人工智能自动化技术等领域从事自然计算、进化计算、协同进化计算、多智能体系统研究的相关专业技术人员提供参考,也可以作为相关专业研究生和高年级本科生教材。

图书在版编目(CIP)数据

协同进化计算与多智能体系统/焦李成,刘静,钟伟才著. —北京:科学出版社,2006

(智能科学技术著作丛书)

ISBN 7-03-017005-9

I. 协… II. ①焦… ②刘… ③钟… III. 人工智能-信息处理 IV. TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 019496 号

责任编辑:田士勇 耿建业 卜 新/责任校对:宋玲玲

责任印制:安春生/封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

天竺彩色印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 9 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006 年 9 月第一次印刷 印张: 20

印数: 1—2 500 字数: 382 000

定价: 48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

《智能科学技术著作丛书》序

“智能”是“信息”的精彩结晶，“智能科学技术”是“信息科学技术”的辉煌篇章，“智能化”是“信息化”发展的新动向、新阶段。

“智能科学技术”(intelligence science & technology, 简称 IST)是关于“广义智能”的理论方法和应用技术的综合性科学技术领域, 其研究对象包括:

- “自然智能”(natural intelligence, 简称 NI), 包括: “人的智能”(human intelligence, 简称 HI)及其他“生物智能”(biological intelligence, 简称 BI)。

- “人工智能”(artificial intelligence, 简称 AI), 包括: “机器智能”(machine intelligence, 简称 MI)与“智能机器”(intelligent machine, 简称 IM)。

- “集成智能”(integrated intelligence, 简称 II), 即: “人的智能”与“机器智能”人机互补的集成智能。

- “协同智能”(cooperative intelligence, 简称 CI), 指: “个体智能”相互协调共生的群体协同智能。

- “分布智能”(distributed intelligence, 简称 DI), 如: 广域信息网, 分散大系统的分布式智能。

1956 年, “人工智能”学科诞生, 50 年来, 在起伏、曲折的科学征途上不断前进、发展, 从狭义人工智能走向广义人工智能, 从个体人工智能到群体人工智能, 从集中式人工智能到分布式人工智能, 在理论方法研究和应用技术开发方面都取得了重大进展。如果说, 当年“人工智能”学科的诞生是生物科学技术与信息科学技术、系统科学技术的一次成功的结合, 那么, 可以认为, 现在“智能科学技术”领域的兴起是在信息化、网络化时代又一次新的多学科交融。

1981 年, “中国人工智能学会”(Chinese Association for Artificial Intelligence, 简称 CAAI)正式成立, 25 年来, 从艰苦创业到成长壮大, 从学习跟踪到自主研发, 团结我国广大学者, 在“人工智能”的研究开发及应用方面取得了显著的进展, 促进了“智能科学技术”的发展。在华夏文化与东方哲学影响下, 我国智能科学技术的研究、开发及应用, 在学术思想与科学方法上, 具有综合性、整体性、协调性的特色; 在理论方法研究与应用技术开发方面, 取得了具有创新性、开拓性的成果。“智能化”已成为当前新技术、新产品的发展方向和显著标志。

为了适时总结、交流、宣传我国学者在“智能科学技术”领域的研究开发及

应用成果，中国人工智能学会与科学出版社合作编辑出版《智能科学技术著作丛书》。需要强调的是，这套丛书将优先出版那些有助于将科学技术转化为生产力以及对社会和国民经济建设有重大作用和应用前景的著作。

我们相信，有广大智能科学技术工作者的积极参与和大力支持，以及编委们的共同努力，《智能科学技术著作丛书》将为繁荣我国智能科学技术事业、增强自主创新能力、建设创新型国家做出应有的贡献。

祝《智能科学技术著作丛书》出版，特赋贺诗一首：

**智能科技领域广
人机集成智能强
群体智能协同好
智能创新更辉煌**

涂序彦

中国人工智能学会荣誉理事长

2005年12月18日

前 言

让机器“听”懂人类的语言，“看”清文字图像，“会”讲话，这是人类一直努力的目标，智能计算与识别则是力图实现人类智能，包括视觉、听觉、触觉等能力和多媒体信息的非线性智能化处理。这也是跨世纪的信息科学与高技术的基本支撑点。由于它在国防与民用各个领域的巨大应用前景，因而受到世界各国的高度重视。

生命科学与工程科学的相互交叉、相互渗透和相互促进是近代科学技术发展的显著特点之一，而计算智能（包括神经网络、模糊逻辑、自然计算、进化计算等）的迅速发展也体现了科学发展的这一特征和趋势。国家自然科学基金委员会已将智能信息处理列为未来重点发展的五个方向之一。

生命从远古时代单细胞开始，历经环境变迁的磨难，经过了从低级到高级、从简单到复杂的演化之路，不但延续下来，而且产生了人类这种有思维、有智力的高级生命体。人类找到了生命的最佳结构与形式，不但可以被动地适应环境，而且能够通过学习、模仿与创造，不断提高自己适应环境的能力。

自从 19 世纪后半叶以来，人类正在将其模仿的范围延伸至自然界与人类自身。神经网络是人类对其思维方式的类比。除了自身结构学习以外，人类还可以向其自身的进化这一更为复杂的过程学习，以增强自己解决问题的能力，其代表性的方法就是进化计算。

人类之所以能够向其自身的进化学习以增强求解问题的能力，是因为自然进化过程本质上就是一个学习与优化的过程。这一优化过程的目的是使生命体达到适应环境的最佳结构与效果。

进化计算是一类模拟生物进化过程与机制求解问题的自组织、自适应人工智能技术。它起源于 20 世纪 60 年代 J. Holland 针对机器学习问题所提出的遗传算法（genetic algorithm）、I. Recenberg 和 H. P. Schwefel 用于数值优化问题的进化策略（evolutionary strategy）以及 L. J. Fogel 针对优化模拟系统所提出的进化规划（evolutionary programming）。

这类技术（算法）的核心思想源于这样的基本认识：生物进化过程（从简单到复杂、从低级到高级）本身是一个自然的、并行发生的、稳健的优化过程。这一优化过程的目标是对环境的自适应性，生物种群通过“优胜劣汰”及遗传变异来达到进化（优化）的目的。依达尔文的自然选择与孟德尔的遗传变异理论，生物的进化是通过繁殖、变异、竞争和选择这四种基本形式实现的。因而，如果把

待解决的问题理解为对某个目标函数的全局优化, 则进化计算即是建立在模拟上述生物进化过程基础上的随机搜索优化技术。根据这一观点, 遗传算法、进化策略与进化规划等均可被解释为进化计算的不同执行策略, 各自从基因的层次和种群的层次实现对生物进化的模拟。

进化计算由于具有鲜明的生物背景和适用于任意函数类等特点, 20 世纪 60 年代中期以来, 引起众多领域的普遍关注, 并被广泛应用于机器学习、人工神经网络训练、程序自动生成、专家系统的知识库维护等一系列超大规模、高度非线性、不连续、多峰函数的优化。

进化作为从生命现象中抽取的重要的自适应机制已经为人们所普遍认识和广泛应用, 然而, 现有的进化模型存在一个共同的不足, 即未能很好地反映这样一个普遍存在的事实: 在大多数情况下, 整个系统复杂的自适应进化过程事实上是一个系统应多个子系统局部相互作用的协同进化过程, 也就是说, 它是大规模协同动力学系统。人们对此了解甚少, 以前的工作大都注意从算法的角度认识问题。因此, 对进化计算的认识机理了解还不多。如何反映进化的多样性、多层次性、系统性、自适应性、自组织过程、相变与混沌机理等则是有待解决的问题, 这也是真正了解进化机理的困难和关键所在。

协同进化计算的研究已受到国内外学者的广泛关注, 但总体上还处于一个起步阶段, 目前还没有形成像进化算法一样的完整框架, 这仍有待于我们做进一步的艰苦工作。本书在深入研究协同进化计算的基础上, 从进化算法发展的根源和协同进化相互作用的角度反思协同进化计算, 提出了组织协同进化算法和多智能体进化算法, 介绍了协同进化算法的动力学系统, 证明了算法的收敛性, 分析了算法的计算复杂性。本书算法理论与应用实践并重, 不但为相关协同进化计算研究者提供研究方法以资借鉴, 而且更重要的是为计算智能的应用提供新的思路和方法。

近 5 年来, 在国家自然科学基金重点项目(进化计算理论、方法与应用, 60133010)、国家自然科学基金面上项目(组织协同进化分类与 VLSI 布图规划, 60502043)等基金的资助下, 我们对进化计算理论、算法及应用进行了较为系统的研究, 尤其对协同进化计算、多智能体系统与进化计算的结合等进行了较为深入的探讨, 共培养了 15 位博士, 出站博士后 3 人。这部书正是我们研究工作的一个小结。

全书共 12 章, 主要内容包括: 进化计算、协同进化计算、复杂适应系统和多智能体系统的简介(第 1 章), 组织协同进化算法及其在大规模数据分类、SAT 问题、数值优化问题中的应用(第 2~4 章), 一种新的 VLSI 布图表示方法——移动模式序列及基于移动模式序列求解布图规划问题的组织进化算法和协同进化多目标优化算法(第 5~7 章), 多智能体进化算法及其在超高维函数优化、组合优化、

约束满足问题、约束布局优化问题、时延受限组播路由问题中的应用(第 8、10~12 章), 宏智能体进化模型及其在可分解函数优化中的应用(第 9 章)。书中给出了主要算法和相应标准测试问题, 便于读者使用和研究。

本书是西安电子科技大学智能信息处理研究所近五年来工作的集体结晶。特别感谢保铮院士多年来的悉心培养和指导, 感谢中国科技大学陈国良院士和 IEEE 进化计算期刊主编、英国伯明翰大学姚新教授的指导和帮助, 感谢国家自然科学基金委员会信息科学部的大力支持, 感谢西安电子科技大学智能信息处理研究所全体成员付出的辛勤劳动。

感谢家人所给予的大力支持和理解。

由于作者水平有限, 书中不妥之处在所难免, 恳请读者批评指正。

作 者

2006 年 5 月 2 日

于西安电子科技大学

庆祝人工智能诞生50周年

暨

中国人工智能学会成立25周年

吴文俊

《智能科学技术著作丛书》编委会

名誉主编： 吴文俊

主 编： 涂序彦

副 主 编： 钟义信 史忠植 何华灿 蔡自兴 孙增圻 童安齐 谭 民

秘 书 长： 韩力群

副秘书长： 田士勇

编 委：（按姓氏汉语拼音排序）

蔡庆生（中国科技大学）

蔡自兴（中南大学）

杜军平（北京工商大学）

韩力群（北京工商大学）

何华灿（西北工业大学）

何 清（中国科学院计算技术研究所）

黄河燕（中国科学院计算语言研究所）

黄心汉（华中科技大学）

焦李成（西安电子科技大学）

李祖枢（重庆大学）

刘 宏（北京大学）

刘 清（南昌大学）

秦世引（北京航空航天大学）

邱玉辉（西南师范大学）

阮秋琦（北京交通大学）

史忠植（中国科学院计算技术研究所）

孙增圻（清华大学）

谭 民（中国科学院自动化研究所）

田士勇（科学出版社）

童安齐（科学出版社）

涂序彦（北京科技大学）

王国胤（重庆邮电学院）

王家钦（清华大学）

王万森（首都师范大学）

吴文俊（中国科学院系统科学研究所）

杨义先（北京邮电大学）

尹怡欣（北京科技大学）

于洪珍（中国矿业大学）

张琴珠（华东师范大学）

钟义信（北京邮电大学）

庄越挺（浙江大学）

目 录

《智能科学技术著作丛书》序

前言

第1章 绪论	1
1.1 从进化论到进化计算	1
1.1.1 现代进化论	1
1.1.2 生物进化与优化	3
1.2 进化计算	5
1.2.1 进化计算的主要分支	6
1.2.2 进化计算的数学基础	8
1.2.3 进化算法的收敛性理论	10
1.2.4 进化计算的应用	16
1.3 协同进化计算	17
1.3.1 协同进化的生物学基础	17
1.3.2 协同进化的动力学描述	21
1.3.3 协同进化算法的发展现状	23
1.4 复杂适应系统	26
1.4.1 复杂适应系统	26
1.4.2 复杂适应系统的适应性与生物进化过程	28
1.4.3 生物进化过程的数学模型	31
1.5 多智能体系统	34
1.5.1 智能体的基本概念	34
1.5.2 智能体形式化描述	37
1.5.3 多智能体系统的主要研究内容	40
1.5.4 面向问题解决的多智能体系统研究现状	43
1.5.5 多智能体系统与分布式人工智能	45
1.5.6 多智能体系统与人工生命	47
1.5.7 多智能体系统与进化计算	49
第2章 组织协同进化分类算法	52
2.1 分类问题与组织学习模型	52
2.2 用于分类的组织	54
2.3 组织适应度函数	57

2.4	组织协同进化分类算法	58
2.5	仿真实验比较研究	61
2.5.1	UCI 标准数据集	61
2.5.2	算法扩展性分析	62
2.6	算法实际应用	64
2.6.1	雷达—维像识别	64
2.6.2	遥感舰船目标识别	67
第 3 章	组织进化算法求解 SAT 问题	70
3.1	用于 SAT 问题的组织	70
3.2	组织进化算子设计	72
3.2.1	自学习算子	72
3.2.2	吞并算子	72
3.2.3	分裂算子	73
3.3	求解 SAT 问题的组织进化算法	74
3.4	仿真实验比较研究	77
第 4 章	组织进化数值优化算法	80
4.1	用于数值优化的组织	80
4.2	组织进化算子设计	81
4.2.1	分裂算子	81
4.2.2	吞并算子	82
4.2.3	合作算子	83
4.3	组织进化数值优化算法	84
4.4	收敛性证明	84
4.5	无约束优化仿真实验	87
4.5.1	OEA 的实验结果	88
4.5.2	OEA 与 FEP 和 OGA/Q 的比较	90
4.6	有约束优化仿真实验	91
4.6.1	OEA 与已有方法的性能比较	92
4.6.2	OEA 的实验结果	94
4.6.3	种群规模对 OEA 求解无约束优化性能的影响	95
4.7	参数机理研究	96
4.7.1	参数 AS 和 CS 对 OEA 性能的影响	97
4.7.2	参数 Max _{OS} 对 OEA 性能的影响	97
第 5 章	移动模式序列——一种新的 VLSI 布图表示方法	100
5.1	布图规划问题	100
5.2	矩形模块移动模式序列	102

5.2.1	移动模式序列的定义	102
5.2.2	移动模式序列到布局的转换算法	103
5.2.3	移动模式序列到布局转换算法的正确性与计算复杂度分析	108
5.3	直线边界模块移动模式序列	110
5.3.1	直线边界模块的信息表示结构	111
5.3.2	移动模式序列到布局的转换算法	112
5.3.3	移动模式序列到布局的转换实例	117
第 6 章	基于移动模式序列的组织进化算法	119
6.1	求解布图规划问题的组织定义	119
6.2	各类型模块形状的确定	119
6.3	组织进化算子设计	123
6.3.1	分裂算子	123
6.3.2	吞并算子	123
6.3.3	培训算子	125
6.4	基于移动模式序列的组织进化算法	126
6.5	仿真实验比较研究	127
6.5.1	硬矩形模块的布图规划实验	129
6.5.2	软矩形模块的布图规划实验	135
6.5.3	软矩形模块与硬直线边界模块混合的布图规划实验	138
第 7 章	协同进化多目标优化算法求解 VLSI 布图规划问题	140
7.1	多目标优化	140
7.1.1	多目标优化问题的起源与数学模型	141
7.1.2	经典的多目标进化算法	143
7.1.3	种群多样性	146
7.1.4	性能评价方法	147
7.2	协同进化多目标优化算法	148
7.2.1	适应度定义与选择机制	149
7.2.2	协同进化算子	150
7.2.3	算法描述	151
7.2.4	仿真实验比较研究	152
7.3	求解 VLSI 布图规划问题的协同进化多目标优化算法	156
7.3.1	协同进化算子设计	156
7.3.2	算法描述	160
7.3.3	仿真实验比较研究	161
第 8 章	用于超高维函数优化的多智能体遗传算法	165
8.1	用于函数优化的智能体	165
8.2	智能体遗传算子设计	167

8.2.1	邻域竞争算子	168
8.2.2	邻域正交交叉算子	168
8.2.3	变异算子	170
8.2.4	自学习算子	170
8.3	多智能体遗传算法	171
8.4	收敛性证明	172
8.5	仿真实验比较研究	175
8.5.1	几个典型算法	176
8.5.2	30 维函数优化实验	177
8.5.3	20~1 000 维函数优化实验	177
8.5.4	1 000~10 000 维函数优化实验	180
8.6	线性系统逼近问题仿真实验	183
8.6.1	自适应伸缩搜索空间的方法	184
8.6.2	自适应遗传算法仿真实验	185
8.6.3	用于线性系统逼近的多智能体遗传算法	189
8.6.4	线性系统逼近问题仿真实验	191
第 9 章	可分解函数优化的宏智能体进化模型	194
9.1	可分解函数	194
9.2	宏智能体	195
9.3	宏智能体进化模型	196
9.4	层次多智能体遗传算法	198
9.4.1	算法描述	199
9.4.2	收敛性证明与时间复杂度分析	200
9.4.3	仿真实验比较研究	202
第 10 章	组合优化多智能体进化算法	205
10.1	用于组合优化的智能体	205
10.2	智能体的行为	206
10.2.1	竞争行为	207
10.2.2	自学习行为	207
10.3	组合优化多智能体进化算法	209
10.4	收敛性证明	210
10.5	欺骗问题仿真实验	213
10.5.1	强联结欺骗函数实验	214
10.5.2	弱联结欺骗函数实验	216
10.5.3	重叠联结欺骗函数实验	218
10.6	等级问题仿真实验	220

10.6.1 等级问题	220
10.6.2 实验结果	222
第 11 章 约束满足智能体进化算法	225
11.1 约束满足智能体	225
11.1.1 约束满足问题	225
11.1.2 约束满足智能体的定义	226
11.1.3 约束满足智能体的生存环境	229
11.2 约束满足智能体的行为	230
11.2.1 竞争行为	230
11.2.2 自学习行为	231
11.2.3 变异行为	232
11.3 约束满足智能体进化算法	232
11.4 算法复杂性分析	233
11.4.1 空间复杂度分析	233
11.4.2 收敛性证明	234
11.5 非排列式约束满足问题仿真实验	237
11.5.1 与经典算法的性能比较研究	238
11.5.2 算法参数机理分析	239
11.6 排列式约束满足问题仿真实验	242
11.6.1 n -皇后问题	242
11.6.2 实验结果	245
第 12 章 多智能体进化算法的实际应用	247
12.1 约束布局优化问题	247
12.1.1 问题描述	247
12.1.2 求解约束布局优化问题的多智能体遗传算法	249
12.1.3 仿真实验比较研究	249
12.2 时延受限组播路由问题	255
12.2.1 组播路由算法概述	255
12.2.2 搜索空间动态扩展的多智能体进化算法求解时延受限组播路由问题	261
12.2.3 仿真实验研究	266
参考文献	268
附录 A 第 4 章的 15 个无约束优化测试函数	282
附录 B 第 4 章的 13 个有约束优化测试函数	284
附录 C 图 6.2 布图结果对应的形状信息和移动模式序列	288
附录 D 图 6.3 布图结果对应的形状信息和移动模式序列	296
附录 E 图 6.4 布图结果对应的形状信息和移动模式序列	301

第 1 章 绪 论

1.1 从进化论到进化计算

在大约 34 亿年前地球上出现了生命。原始的生命并不具有细胞结构,后来才出现了少数单细胞的原始类型。这类生物在适当的条件下不断地分化、发展。一些进化到植物,另一些进化到动物直至人类^[1]。

任何生物都与其生活的环境相联系。许多绿草丛中的昆虫是绿色的,沙漠中的动物是沙黄色的,北极的动物是白色的,绿色植物的叶能够进行光合作用,脊椎动物眼的结构使其能很好地了解周围的情况,某些温泉里的藻类可忍耐 80℃ 的高温,沙漠中的节节木根系长 4~5m。这些都是奇妙的适应现象。生物的进化必然与环境相适应,否则就被淘汰。因为各种生物要生存下去就必须进行生存斗争。生存能力较强的生物容易生存下来,并有较多的机会产生后代;生存能力较低的生物则被淘汰,或者产生后代的机会越来越少,直至消亡。

生物进化论认为,地球上最早的生命物质是由非生命物质转化来的,现存的各种生物有着共同的祖先。在进化过程中,生物的种类由少到多,生物的结构和功能由简单到复杂,由低级到高级。把生物进化作为一门科学进行探讨,并首次提出系统进化学说的是法国博物学家拉马克^[2]。半个世纪后,即 1859 年,英国生物学家达尔文为之奠定了科学的基础^[3],这标志着科学的生物进化论的诞生。此后,进化论又被奥地利学者孟德尔开创的遗传学补充和发展^[4],终于发展成为现代的科学形态。

1.1.1 现代进化论

现代进化论的理论来源至少包括三方面的内容:拉马克进化学说、达尔文进化论和孟德尔遗传学。其主干则是达尔文进化论。

1. 拉马克进化学说

1809 年,拉马克出版了《动物哲学》^[2]一书。此书首次提出并系统阐述了生物进化学说。拉马克认为:

(1) 一切物种都是由其他物种演变和进化而来的,生物的演变和进化是一个缓慢而连续的过程。

(2) 环境的变化能够引起生物的变异,环境的变化迫使生物发生适应性的进化。生物对环境的适应是发生变异的结果:环境变了,生物会发生相应的变异,

以适应新的环境。对于植物和无神经系统的低等动物来说,环境引起变异的过程是:环境→机能→形态构造。对于有神经系统的动物来说,环境引起变异的过程是:环境→需要→习性→机能→形态构造。

(3) 有神经系统的动物发生变异的原因,除了环境变化和杂交外,更重要的是用进废退和获得性状遗传。

(4) 生物进化的方向是从简单到复杂,从低等到高等。

(5) 最原始的生物起源于自然发生。各类生物并不起源于共同祖先。植物、各类动物各有不同的起源。

拉马克建立了比较完整的生物体系,但他关于获得性遗传的法则始终无法得到现代科学的支持。

2. 达尔文进化论

自 1831 年,达尔文开始了为期 5 年的环球科学旅行。沿途,他仔细考察了各地的生物类型、地理分布、古生物化石和现存生物的相互关系、地质层次序。返英后,他研究了人工育种的经验,总结了生物学和人类学的最新成果,于 1859 年完成了《物种起源》^[3]一书。与此同时,Wallace 发表了题为《论变种无限地离开其原始模式的倾向》的论文。他们提出的观点被统称为达尔文进化学说。其基本要点是:

(1) 生物不是静止的,而是进化的。物种不断变异,旧物种消失,新物种产生。

(2) 生物进化是逐渐和连续的,不会发生突变。

(3) 生物之间都有一定的亲缘关系,它们具有共同的祖先。这点与拉马克的多元论不同。

(4) 自然选择是变异的最重要的途径。生物过度繁殖,但是它们的生存空间和食物都是有限的,从而面对生存斗争。生存斗争包括种内斗争、种间斗争以及生物与自然环境斗争三个方面。同种群的不同个体之间具有不同变异,有些变异对生存有利,有些变异对生存不利。优胜劣汰,适者生存。

达尔文进化论的提出不但是生物学思想的革命,而且也是人类哲学思想的一次革命。达尔文的观点和拉马克的观点有许多相似之处。但达尔文摒弃了拉马克获得性遗传法则,认为获得性状对于进化并不重要,只有遗传的变异才具有明显的进化价值,变异在群体内遗传,产生了进化效应。

3. 孟德尔遗传学

几乎在达尔文提出进化论的同时,孟德尔正在默默地进行着豌豆杂交实验,他把实验结果总结为以下两条定律(德国植物学家 Correns 将这些定律概括为孟德尔定律)。

(1) 分离定律:纯质亲本杂交时,子一代所有个体都表现出显性性状,在子二代表现出分离现象,显性性状与隐性性状之比为 3:1。