

## 6

## Colormaps

## 颜色映射

一种将数据映射到颜色的方式



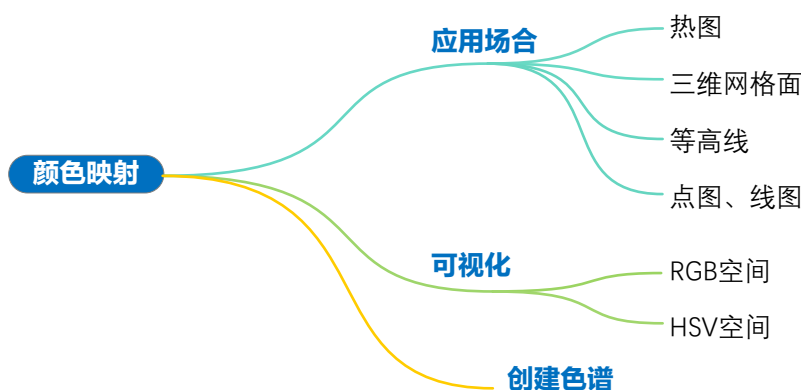
一位画家应该在每块画布上都开始一层黑色的底色，因为自然界中的一切事物都是黑暗的，只有在被光线照射的地方才会显现出明亮。

*A painter should begin every canvas with a wash of black, because all things in nature are dark except where exposed by the light.*

—— 列奥纳多·达·芬奇 (Leonardo da Vinci) | 文艺复兴三杰之一 | 1452 ~ 1519



- ▶ `matplotlib.pyplot.colormaps()` 获取所有可用的颜色映射的名称列表
- ▶ `matplotlib.pyplot.get_cmap()` 获取指定名称的颜色映射对象，可用于将数据值映射到对应的颜色
- ▶ `matplotlib.pyplot.cm.RdYlBu_r()` 返回 `RdYlBu` 颜色映射的倒置版本
- ▶ `seaborn.heatmap()` 绘制热图
- ▶ `enumerate()` 用于在迭代过程中同时获取元素的索引和值，返回一个包含索引和值的元组的迭代器
- ▶ `sympy.lambdify()` 将 `SymPy` 表达式转换为可进行数值计算的 `Python` 函数
- ▶ `sympy.diff()` 对符号表达式进行求导，返回导数的表达式
- ▶ `matplotlib.colors.rgb_to_hsv()` 将 `RGB` 颜色表示转换为 `HSV` 颜色
- ▶ `matplotlib.colors.LinearSegmentedColormap` 创建自定义连续颜色映射
- ▶ `matplotlib.colors.ListedColormap` 创建自定义离散颜色映射



本 PDF 文件为作者草稿，发布目的为方便读者在移动终端学习，终稿内容以清华大学出版社纸质出版物为准。

版权归清华大学出版社所有，请勿商用，引用请注明出处。

代码及 PDF 文件下载：<https://github.com/Visualize-ML>

本书配套微课视频均发布在 B 站——生姜 DrGinger: <https://space.bilibili.com/513194466>

欢迎大家批评指教，本书专属邮箱：[jiang.visualize.ml@gmail.com](mailto:jiang.visualize.ml@gmail.com)

## 6.1 颜色映射

颜色映射，也叫色谱、色图，是指将数值映射到颜色的一种关系。图 1 所示为 Matplotlib 常见的几种色谱。Matplotlib 默认的色谱为 viridis。

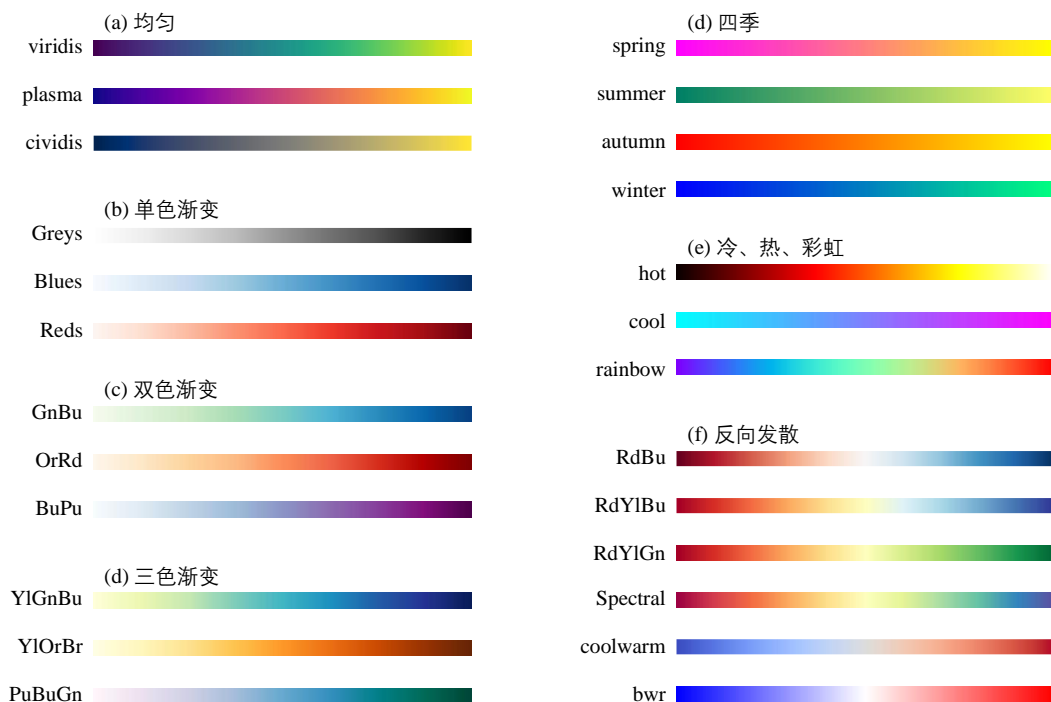


图 1. 几种常用色谱

鸢尾花书中最常见色谱是图 1 (f) 中 RdYlBu。图 2 所示为颜色映射的原理。图 3 将  $[0, 1]$  区间数值映射到 RdYlBu\_r 颜色映射。RdYlBu\_r 是将 RdYlBu 颜色翻转。

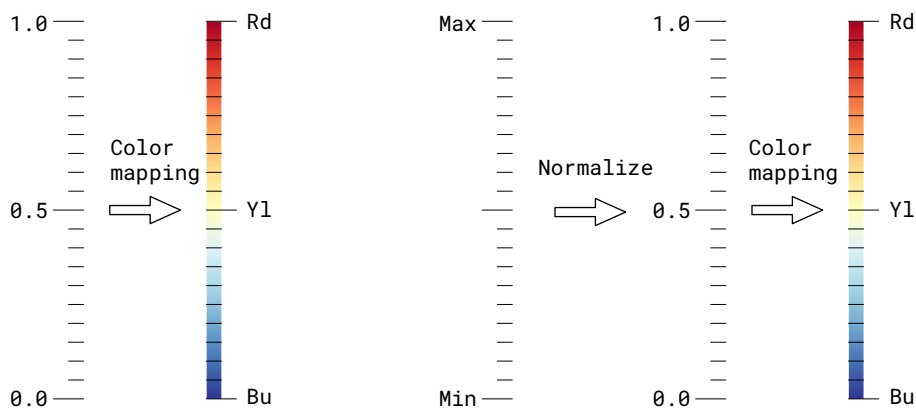


图 2. 颜色映射原理

本 PDF 文件为作者草稿，发布目的为方便读者在移动终端学习，终稿内容以清华大学出版社纸质出版物为准。

版权归清华大学出版社所有，请勿商用，引用请注明出处。

代码及 PDF 文件下载：<https://github.com/Visualize-ML>

本书配套微课视频均发布在 B 站——生姜 DrGinger: <https://space.bilibili.com/513194466>

欢迎大家批评指教，本书专属邮箱：[jiang.visualize.ml@gmail.com](mailto:jiang.visualize.ml@gmail.com)

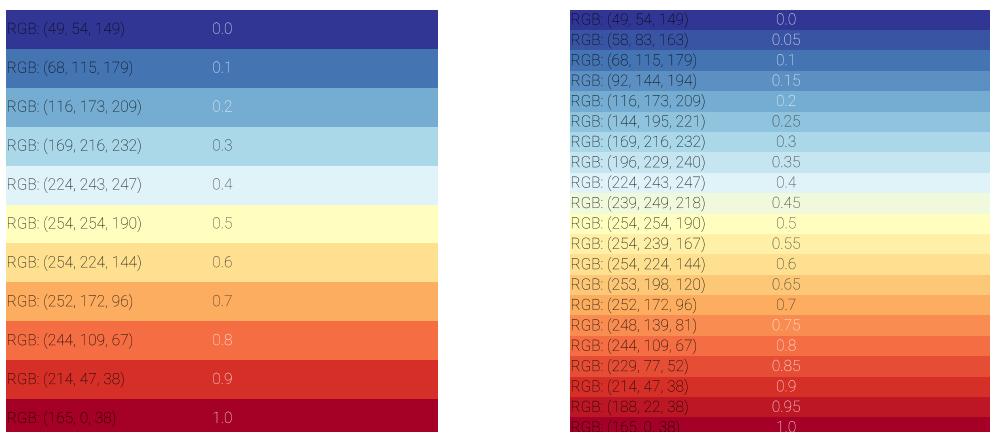



图 3. 将  $[0, 1]$  区间数值映射到 RdYlBu\_r 颜色映射 |  BK\_2-Ch06\_01.ipynb

请大家注意，Seaborn 和 Plotly 库还有自己特殊定制的颜色映射。颜色映射的应用很广泛，比如三维网格面、等高线、热图等等。

### 三维网格面

图 18 采用色谱可视化二元函数的取值。图 18 (a) 和 (b) 利用 `plot_surface()` 函数绘制，分别采用 RdYlBu 和 Blues 两种色谱。



《数学要素》第 13 章讲解二元函数。

图 18 (a) 和 (b) 上还加上了**色谱条** (color bar) 用来指示不同颜色对应的函数值。有关 colorbar 的布置，大家可以参考。

[https://matplotlib.org/stable/users/explain/axes/constrainedlayout\\_guide.html](https://matplotlib.org/stable/users/explain/axes/constrainedlayout_guide.html)

加上“\_r”之后，RdYlBu\_r 和 Blues\_r，色谱的顺序发生调转，如图 18 (c) 和 (d) 所示。

图 18 (e) 和 (f) 则仅仅保留三维网格色谱。这种网格透视效果更好。

### 等高线

图 19 所示为用几种不同色谱绘制的平面填充等高线、无填充等高线。

本系列丛书中，像 Blues 这种单色渐变色谱，经常用来可视化概率密度函数。因为概率密度函数取值大于等于 0。

本书中，大家还会看到色谱在线图、热图、分类标签等各种可视化应用场景。

更多有关色谱的探讨，请参考：

<https://matplotlib.org/stable/tutorials/colors/colormaps.html>

此外，图 1 也参考上述例子。



Jupyter 笔记 BK\_2\_Ch06\_02.ipynb 和 BK\_2\_Ch06\_03.ipynb 分别绘制图 18、图 19 子图。

下面，我们将用三个视角可视化色谱。这三个视角分别是：RGB 色彩空间、HSV 色彩空间、亮度。

## 6.2 在 RGB 空间的位置

RdYlBu 在我们眼里是一组渐变的颜色，而每个颜色对应一个 RGB 色号。因此，类似 RdYlBu 这样的色谱实际上就是 RGB 空间的一组坐标。

利用生成的  $[0, 1]$  之间长度为 100 的等差数列，我们可以从制定的色谱上取得 100 个连续色号。这 100 个色号便对应 RGB 空间 100 个坐标。绘制三维散点时，我们同时给它们赋值对应的色号，图 20、图 21 所示为八个选定的色谱在 RGB 空间的“轨迹”。为了更好地观察，我们设定 4 个观察视角。

特别地，如图 20 (d) 所示，我们发现色谱 cool 实际上就是 cyan 和 magenta 之间的线性插值。

图 21 这四个图谱颜色都很艳丽，但是通过 RGB 这个可视化方案，我们发现四个色谱的差异很明显。

rainbow 的颜色变化较为平滑，而 jet 则多数在 RGB 立方体的三个最鲜亮的里面上。turbo 的两个端点的红色和蓝色色号都更靠近原点。也就是所，颜色相对较深。但是 turbo 色号散点轨迹是四个色谱中最平滑的一个，因此颜色过渡均匀。hsv 色谱很特殊，首先它首尾封闭，hsv 的起点和终点都是红色。再者，hsv 所有颜色几乎都在 HSV 色系的饱和度为 1 的边缘上，这一点在 HSV 色彩空间更容易看到。此外，jet 和 hsv 都可以看成由线段构成。



《数据有道》将专门介绍插值。

## 6.3 在 HSV 空间的位置

前文提过，RGB 色彩空间相当于三维直角坐标系，而 HSV 色彩空间相当于圆锥坐标系。既然可以在 RGB 空间可视化色谱，我们也可以在 HSV 色彩空间可视化色谱，具体如图 22、图 23 所示。

用 `matplotlib.colors.rgb_to_hsv()`，我们把 RGB 色号转化为 HSV 色号。H（色调）、S（饱和度）、V（明暗度）三个值都在  $[0, 1]$  范围之内。而 H 相当于极角，我们需要将其转化成  $[0, 2\pi]$  范围内的值。然后将极坐标转化为直角坐标标。V 值本身就是竖轴值。



Jupyter 笔记 BK\_2\_Ch06\_04.ipynb 绘制图 20、图 21 子图。

Jupyter 笔记 BK\_2\_Ch06\_05.ipynb 绘制图 22、图 23 子图。

本 PDF 文件为作者草稿，发布目的为方便读者在移动终端学习，终稿内容以清华大学出版社纸质出版物为准。

版权归清华大学出版社所有，请勿商用，引用请注明出处。

代码及 PDF 文件下载：<https://github.com/Visualize-ML>

本书配套微课视频均发布在 B 站——生姜 DrGinger: <https://space.bilibili.com/513194466>

欢迎大家批评指教，本书专属邮箱：[jiang.visualize.ml@gmail.com](mailto:jiang.visualize.ml@gmail.com)

## 亮度

图 4 可视化八个色谱的亮度。这幅图参考如下 Matplotlib 官方例子：

<https://matplotlib.org/stable/tutorials/colors/colormaps.html>

请大家自行学习，并绘制图 4。

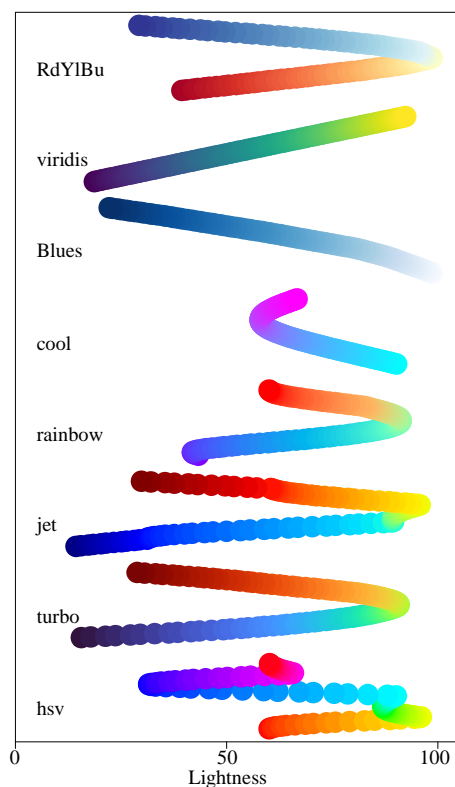


图 4. 八个色谱的亮度

## 6.4 创建色谱

本节聊聊如何在 Matplotlib 中创建、使用色谱。

### 两个节点

在 Matplotlib 中创建色谱，至少需要两个颜色作为节点。上一个节，大家已经见过 'cool' 这个色谱的两端有两个颜色——'cyan' 和 'magenta'，具体如图 5 所示。色谱的左端节点用 0 表示，右侧节点用 1 表示。



图 5. 两个节点，左侧节点 (0.0) 为 'cyan'，右侧节点 (1.0) 为 'magenta'

下面，我们将左侧节点替换为深蓝色 'darkblue'，得到的色谱如图 6 所示。图 24 (a) 所示为这个色谱在 RGB 空间的具体位置。



图 6. 两个节点，左侧节点 (0.0) 为 'darkblue'，右侧节点 (1.0) 为 'magenta'

### 三个节点

下面，我们用在图 6 色谱的中间 (0.5) 处加一个白色，得到如图 7 所示色谱。这个色谱显然对称。图 24 (b) 所示为这个色谱在 RGB 空间的具体位置。

我们可以用同样的三个颜色构造如图 8 所示的非对称色谱，白色移动到 0.75 处。

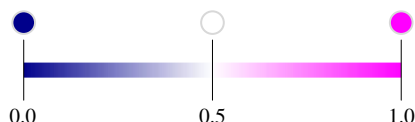


图 7. 三个节点，左侧节点 (0.0) 为 'darkblue'，正中间节点 (0.5) 为 'white'，右侧节点 (1.0) 为 'magenta'



图 8. 三个节点，左侧节点 (0.0) 为 'darkblue'，中间节点 (0.75) 为 'white'，右侧节点 (1.0) 为 'magenta'

### 五个节点

为了让自定义色谱的颜色渐变更丰富，我们在图 7 基础上再增加两个节点 ('skyblue' 和 'pink')，得到如图 9 所示色谱。这五个节点均匀布置。这个色谱在 RGB 色彩空间位置如图 24 (c) 所示。将正中间的白色换成黄色，我们便得到图 10 所示色谱。这个色谱在 RGB 色彩空间位置如图 24 (d) 所示。

将图 9 的天蓝色、粉色节点分别向两端靠近，我们便得到如所示图 11 色谱。

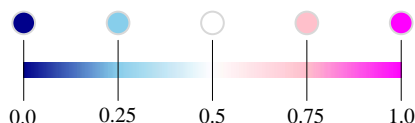


图 9. 五个节点，左侧节点 (0.0) 为 'darkblue'，中间有三个节点，右侧节点 (1.0) 为 'magenta'，均匀布置

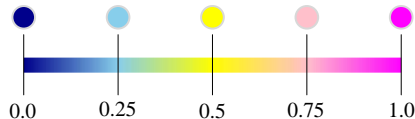


图 10. 三个节点，中间换成黄色

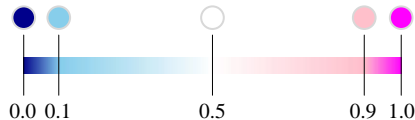


图 11. 五个节点，左侧节点 (0.0) 为 'darkblue'，中间有三个节点，右侧节点 (1.0) 为 'magenta'，不均匀布置

## RGB 色谱

下面，我们用 RGB 三个基色构造一个均匀色谱，具体如图 12 所示。

图 13 则展示了一个首尾连接的循环色谱，这个色谱有四个节点，它们在 RGB 空间的位置如图 25 (a) 所示。这个色谱显得很“暗沉”。我们可以看出，这个色谱线性插值得到的颜色很多都靠近黑色。

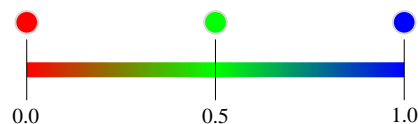


图 12. RGB 色谱，均匀布置

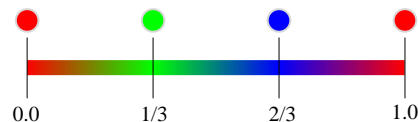


图 13. RGB 色谱，循环

## CMY 色谱

作为对比，我们再用 CMY 三个基色构造如图 14 所示色谱。这个色谱的色调显然明亮很多。如图 25 (b) 所示，这个色谱插值得到的颜色都在 RGB 三个最鲜亮的立面上。

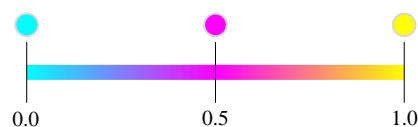


图 14. CMY 色谱，均匀布置

如图 15 所示，我们构造了一个循环色谱。这个色谱有四个节点，它们的位置如图 25 (c) 所示。从 HSV 色彩空间视角来看，这个色谱的所有颜色饱和度 (S) 并非最高。

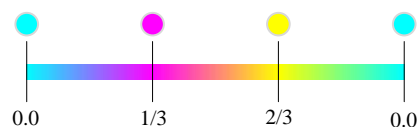


图 15. 自定义 HSV 色谱，循环

## 仿制 HSV 色谱

前文大家都见过 hsv 色谱，下面我们自己仿造一个类似色谱。如图 16 所示，这个色谱一共有 7 个节点，首尾循环、均匀布置。色谱在 RGB 色彩空间位置如图 25 (d) 所示。这个色谱所有颜色在 HSV 饱和度最高。

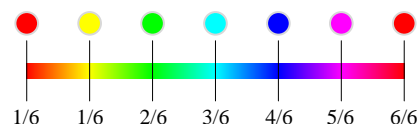


图 16. 仿造 HSV 色谱，循环



Jupyter 笔记 BK\_2\_Ch06\_06.ipynb 绘制图 24、图 25 子图。

## 热图

本 PDF 文件为作者草稿，发布目的为方便读者在移动终端学习，终稿内容以清华大学出版社纸质出版物为准。

版权归清华大学出版社所有，请勿商用，引用请注明出处。

代码及 PDF 文件下载：<https://github.com/Visualize-ML>

本书配套微课视频均发布在 B 站——生姜 DrGinger: <https://space.bilibili.com/513194466>

欢迎大家批评指教，本书专属邮箱：[jiang.visualize.ml@gmail.com](mailto:jiang.visualize.ml@gmail.com)

下面，我们用自定义色谱和热图可视化随机数。我们用 `seaborn.heat()` 绘制随机数，随机数则满足标准正态分布。

图 26 (a) 热图采用图 9 所示热图。为了突出极大、极小的随机数（可能存在的离群值），我们可以采用图 11 所示色谱，并得到图 26 (b) 所示热图。

图 26 (c) 则较为特殊，这图热图采用自定义的离散热图。大家可能已经发现，热图变化不再连续。比如， $[-1, 1]$  之间的随机数都用白色表示。

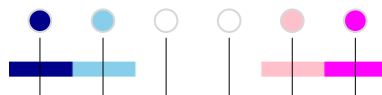


图 17. 自定义离散色谱

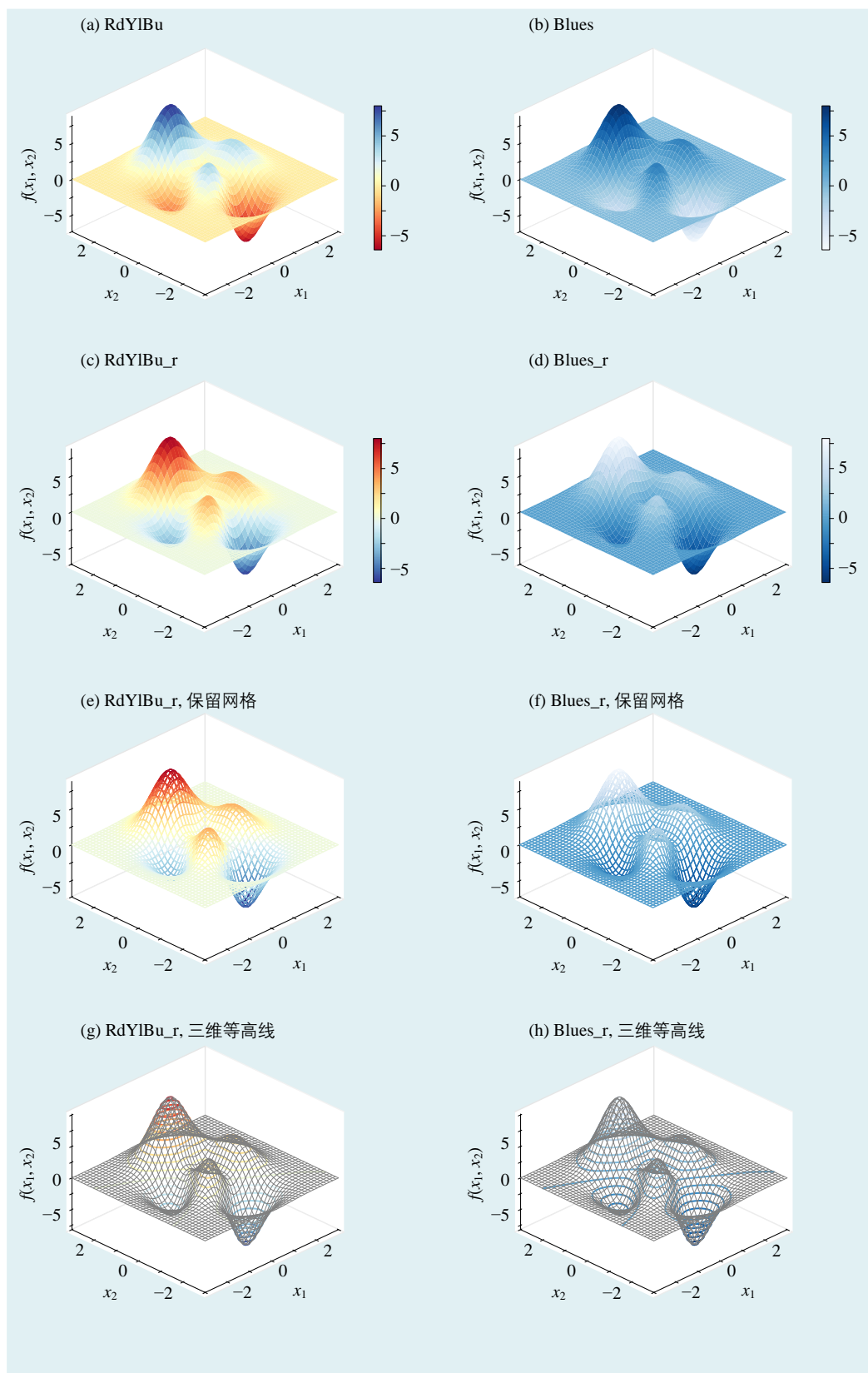



Jupyter 笔记 BK\_2\_Ch06\_07.ipynb 绘制图 26 子图。



颜色映射是一种将数值值映射到颜色的方法，使得图表更具可视化效果。`Matplotlib` 中颜色映射都是基于不同的色彩模型设计的，例如 RGB 或 HSV。我们会在散点、线图、热图、曲面图、等高线等可视化方案中用到颜色映射。



图 18. 三维网格曲面，使用不同色谱 |  BK\_2\_Ch06\_02.ipynb

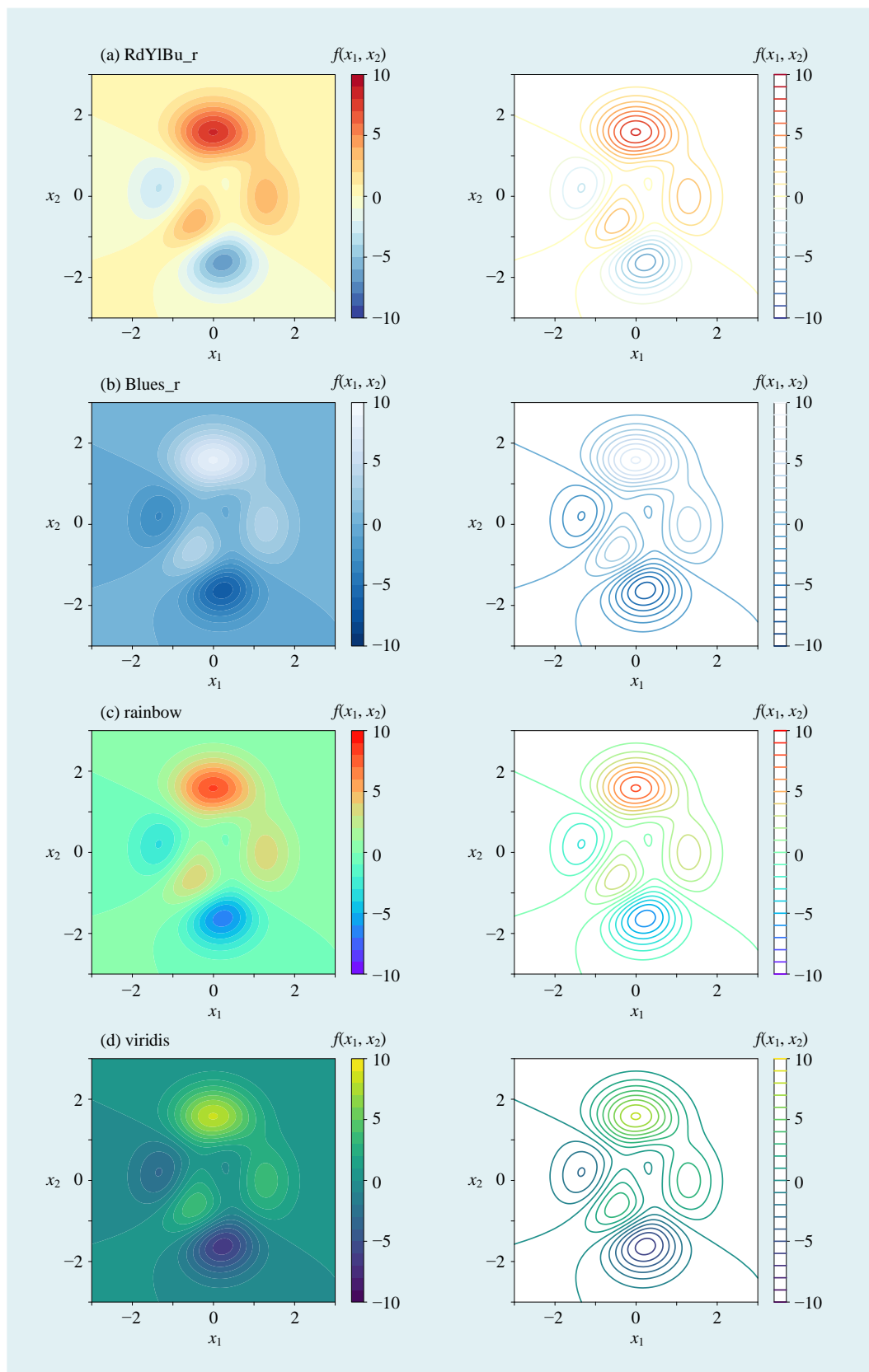

本 PDF 文件为作者草稿，发布目的为方便读者在移动终端学习，终稿内容以清华大学出版社纸质出版物为准。

版权归清华大学出版社所有，请勿商用，引用请注明出处。

代码及 PDF 文件下载：<https://github.com/Visualize-ML>

本书配套微视频均发布在 B 站——生姜 DrGinger：<https://space.bilibili.com/513194466>

欢迎大家批评指教，本书专属邮箱：[jiang.visualize.ml@gmail.com](mailto:jiang.visualize.ml@gmail.com)

图 19. 平面等高线, 使用不同色谱 |  BK\_2\_Ch06\_03.ipynb

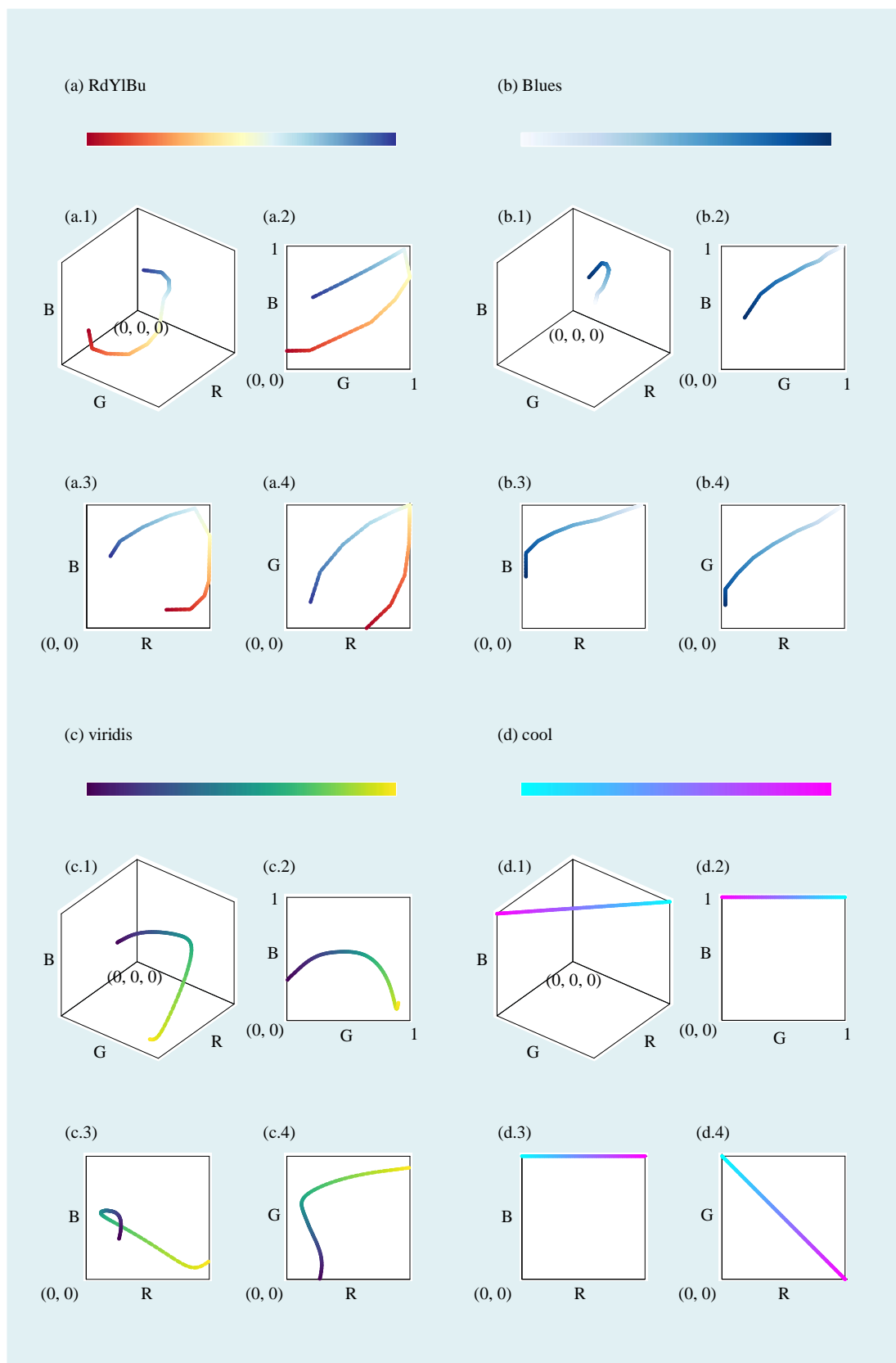

本 PDF 文件为作者草稿，发布目的为方便读者在移动终端学习，终稿内容以清华大学出版社纸质出版物为准。

版权归清华大学出版社所有，请勿商用，引用请注明出处。

代码及 PDF 文件下载：<https://github.com/Visualize-ML>

本书配套微课视频均发布在 B 站——生姜 DrGinger: <https://space.bilibili.com/513194466>

欢迎大家批评指教，本书专属邮箱：[jiang.visualize.ml@gmail.com](mailto:jiang.visualize.ml@gmail.com)

图 20. RGB 空间看 RdYlbu、Blues、viridis、cool 四个色谱 |  BK\_2-Ch06\_04.ipynb

本 PDF 文件为作者草稿，发布目的为方便读者在移动终端学习，终稿内容以清华大学出版社纸质出版物为准。

版权归清华大学出版社所有，请勿商用，引用请注明出处。

代码及 PDF 文件下载：<https://github.com/Visualize-ML>

本书配套微课视频均发布在 B 站——生姜 DrGinger: <https://space.bilibili.com/513194466>

欢迎大家批评指教，本书专属邮箱：[jiang.visualize.ml@gmail.com](mailto:jiang.visualize.ml@gmail.com)

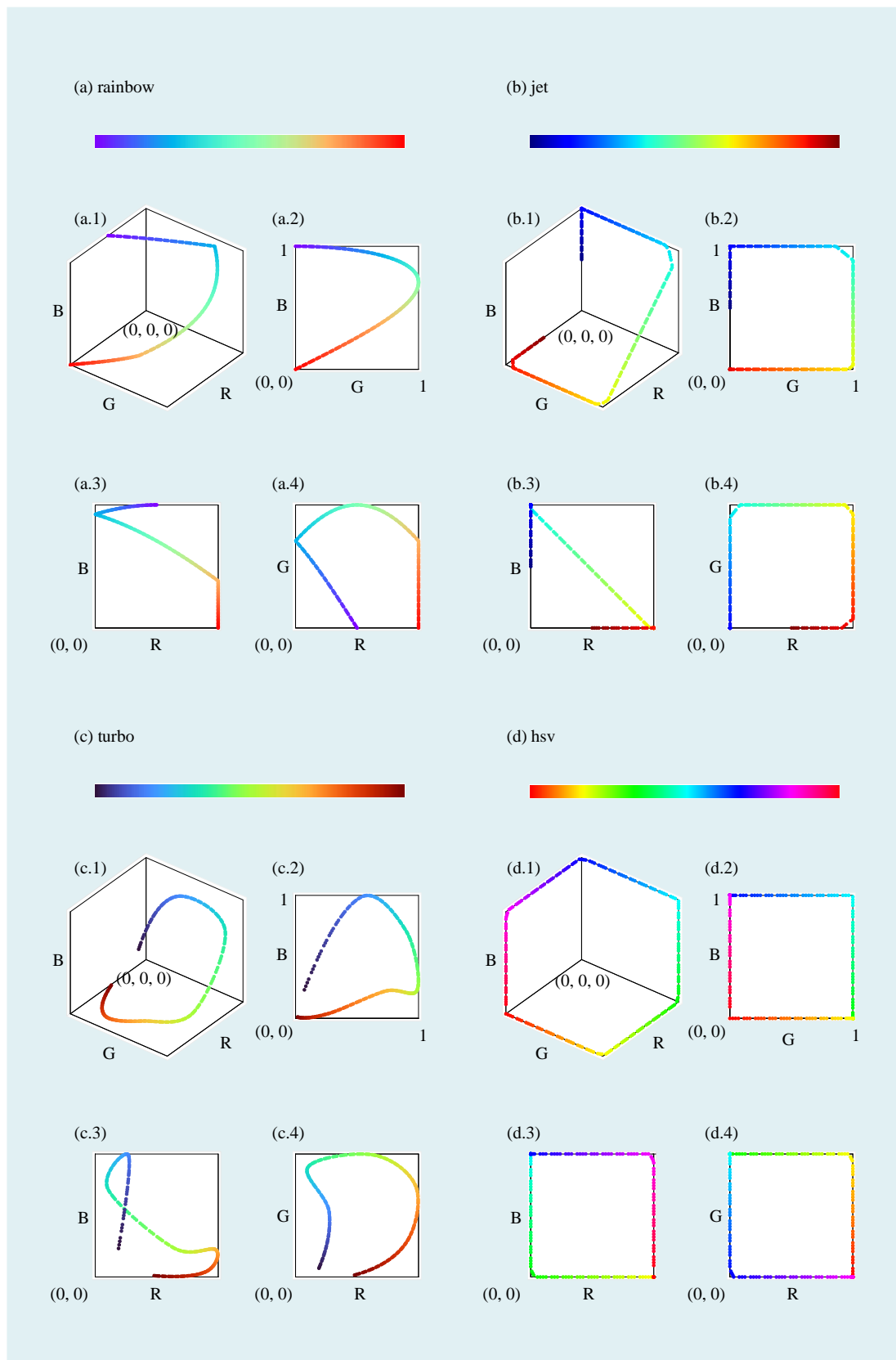


图 21. RGB 空间看 rainbow、jet、turbo、hsv 四个色谱 | BK\_2\_Ch06\_04.ipynb

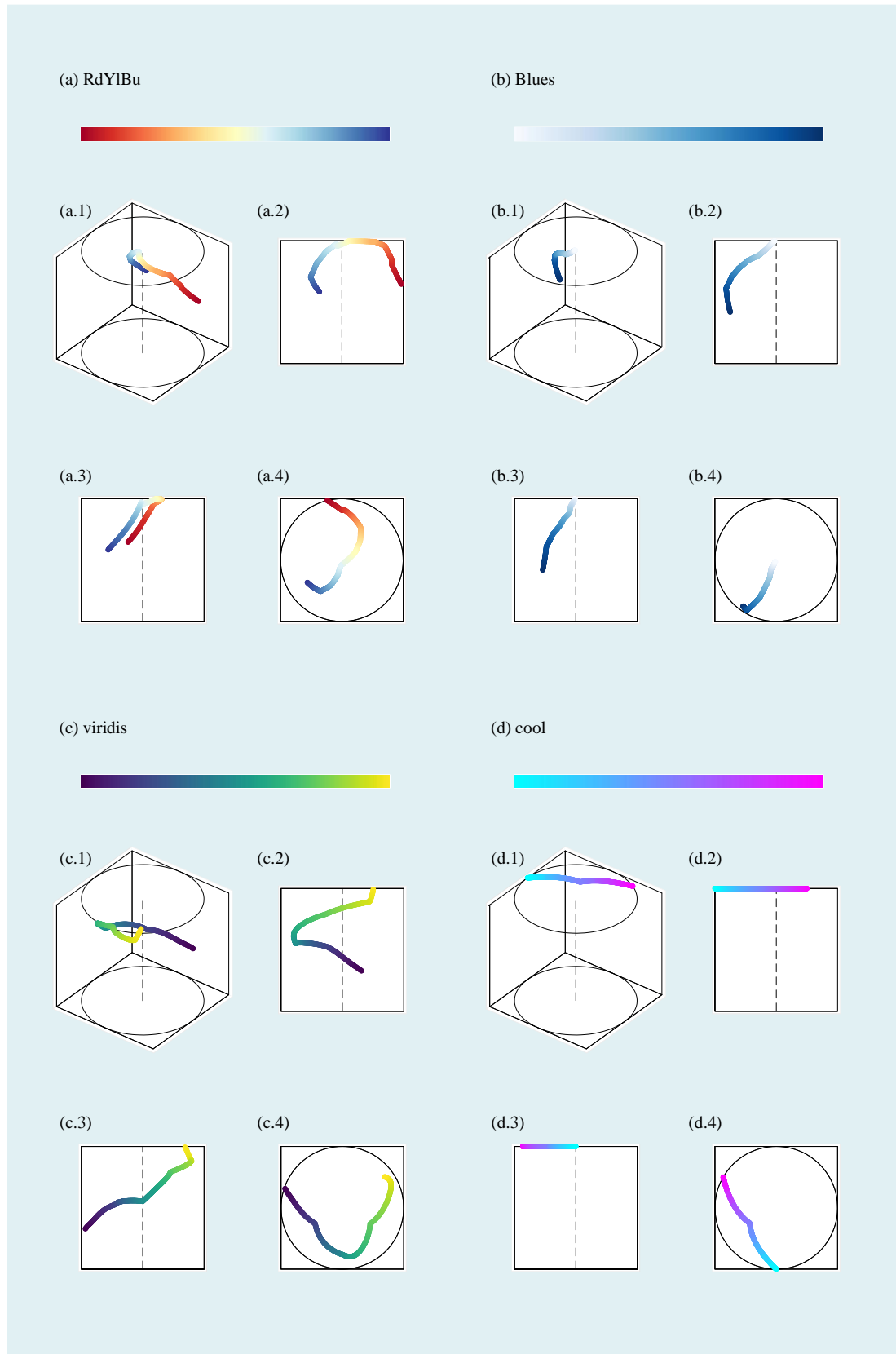

本 PDF 文件为作者草稿，发布目的为方便读者在移动终端学习，终稿内容以清华大学出版社纸质出版物为准。

版权归清华大学出版社所有，请勿商用，引用请注明出处。

代码及 PDF 文件下载：<https://github.com/Visualize-ML>

本书配套微课视频均发布在 B 站——生姜 DrGinger：<https://space.bilibili.com/513194466>

欢迎大家批评指教，本书专属邮箱：[jiang.visualize.ml@gmail.com](mailto:jiang.visualize.ml@gmail.com)

图 22. HSV 空间看 RdYlbu、Blues、viridis、cool 四个色谱 |  BK\_2-Ch06\_05.ipynb

本 PDF 文件为作者草稿，发布目的为方便读者在移动终端学习，终稿内容以清华大学出版社纸质出版物为准。

版权归清华大学出版社所有，请勿商用，引用请注明出处。

代码及 PDF 文件下载：<https://github.com/Visualize-ML>

本书配套微课视频均发布在 B 站——生姜 DrGinger：<https://space.bilibili.com/513194466>

欢迎大家批评指教，本书专属邮箱：[jiang.visualize.ml@gmail.com](mailto:jiang.visualize.ml@gmail.com)

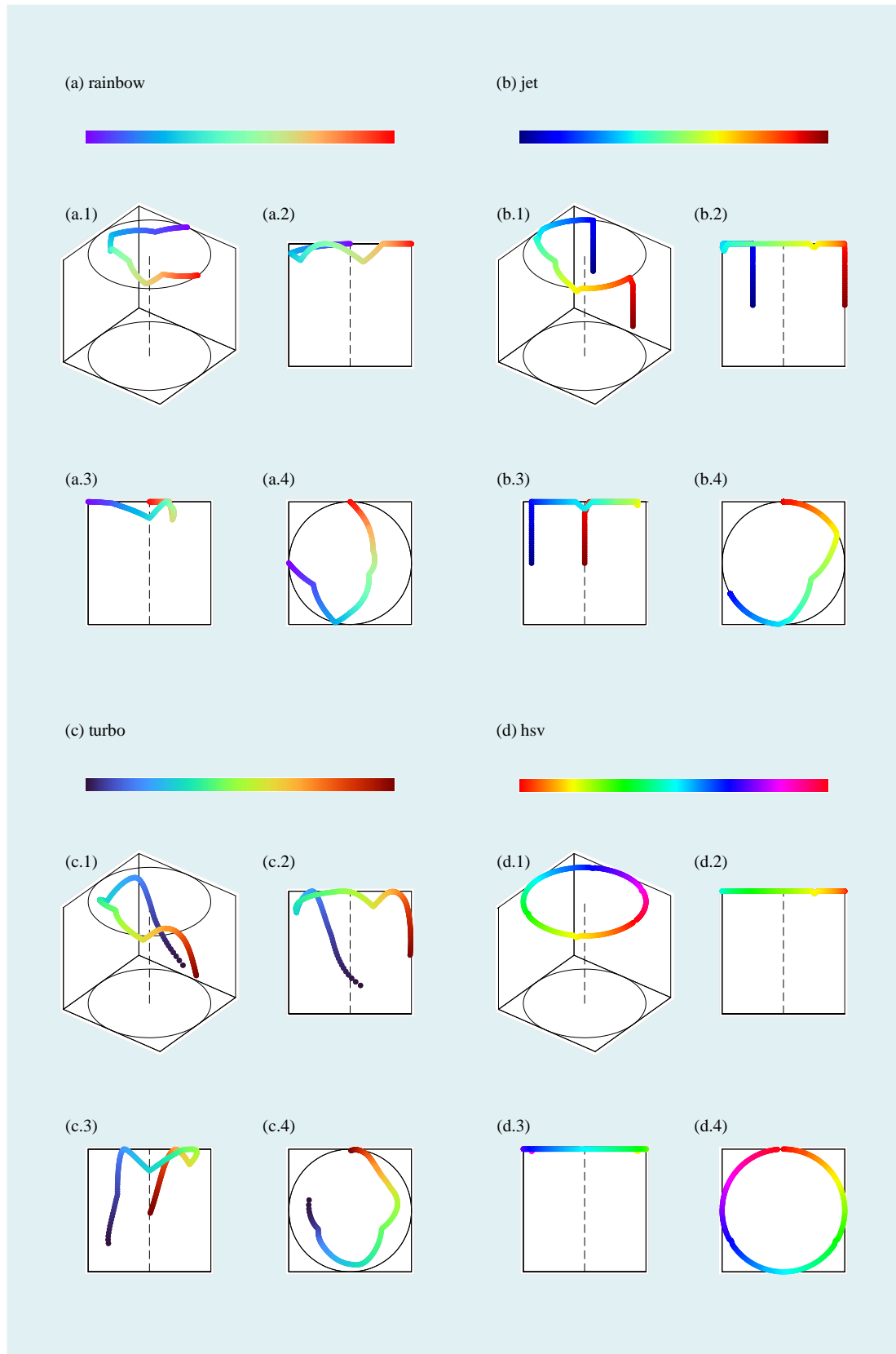


图 23. HSV 空间看 rainbow、jet、turbo、hsv 四个色谱 | BK\_2\_Ch06\_05.ipynb

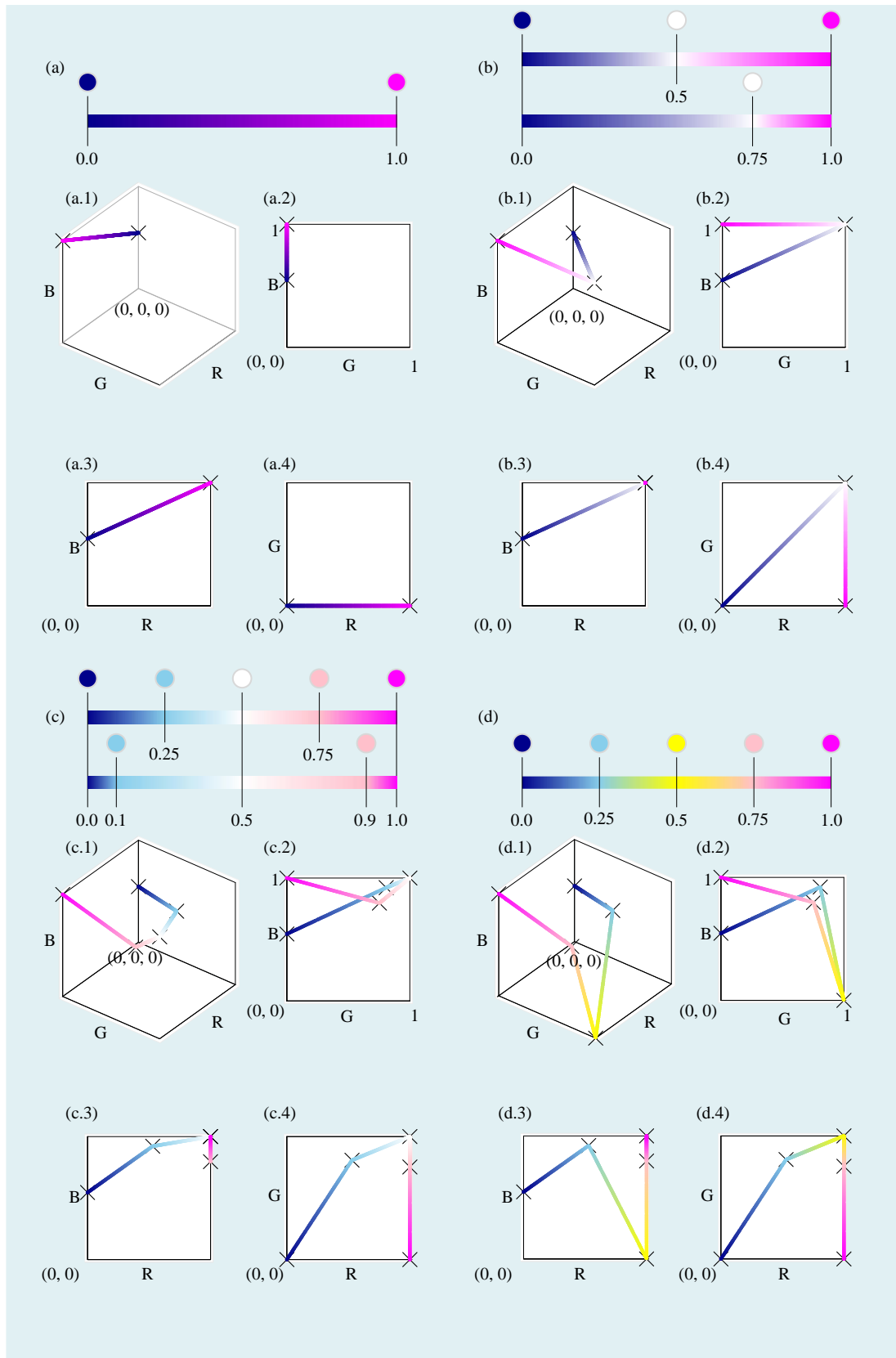


图 24. 自定义色谱在 RGB 色彩空间位置, 第 1 组 | BK\_2\_Ch06\_06.ipynb

本 PDF 文件为作者草稿，发布目的为方便读者在移动终端学习，终稿内容以清华大学出版社纸质出版物为准。

版权归清华大学出版社所有，请勿商用，引用请注明出处。

代码及 PDF 文件下载：<https://github.com/Visualize-ML>

本书配套微课视频均发布在 B 站——生姜 DrGinger：<https://space.bilibili.com/513194466>

欢迎大家批评指教，本书专属邮箱：[jiang.visualize.ml@gmail.com](mailto:jiang.visualize.ml@gmail.com)

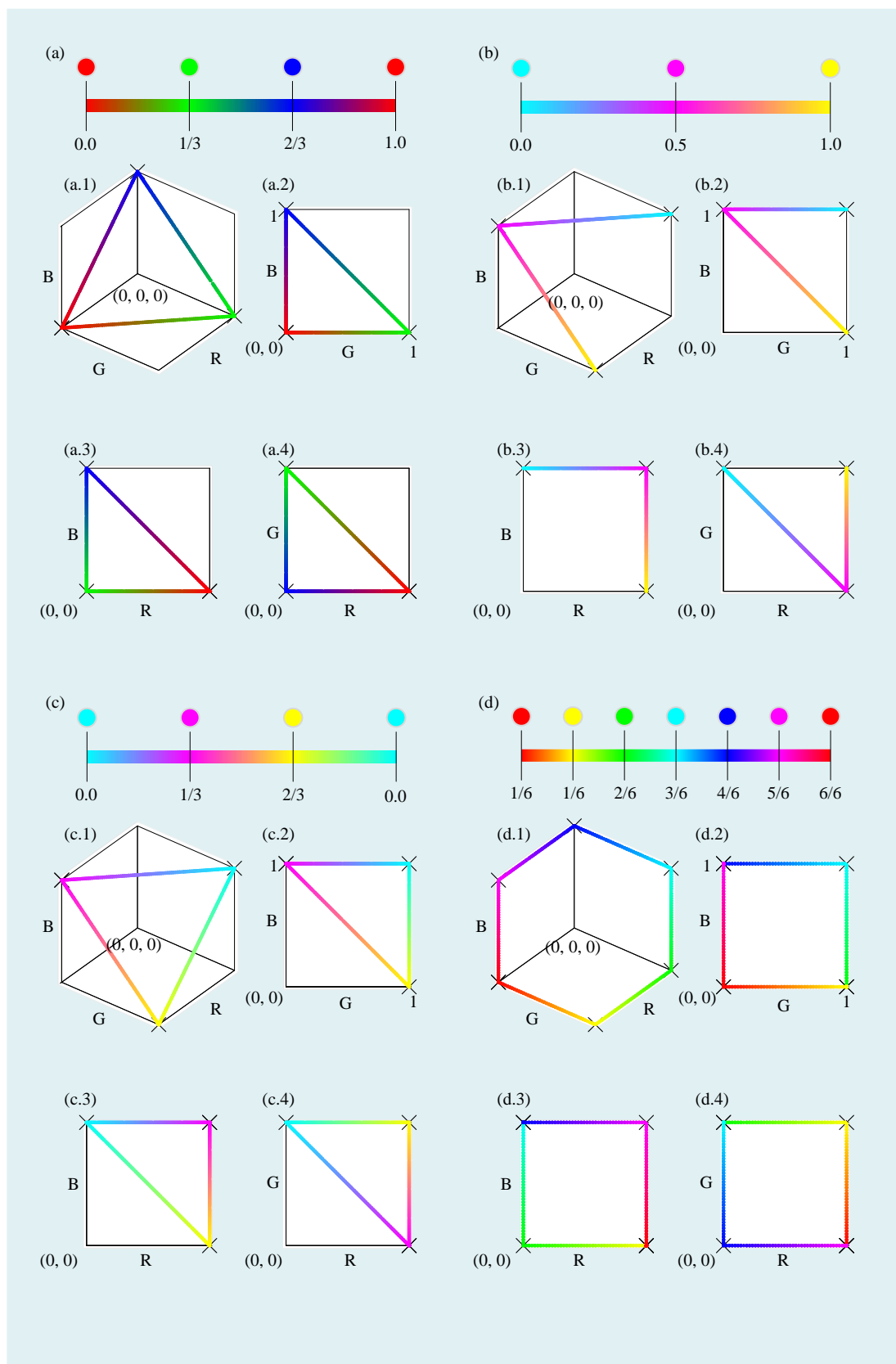


图 25. 自定义色谱在 RGB 色彩空间位置, 第 2 组 | BK\_2\_Ch06\_06.ipynb

本 PDF 文件为作者草稿，发布目的为方便读者在移动终端学习，终稿内容以清华大学出版社纸质出版物为准。

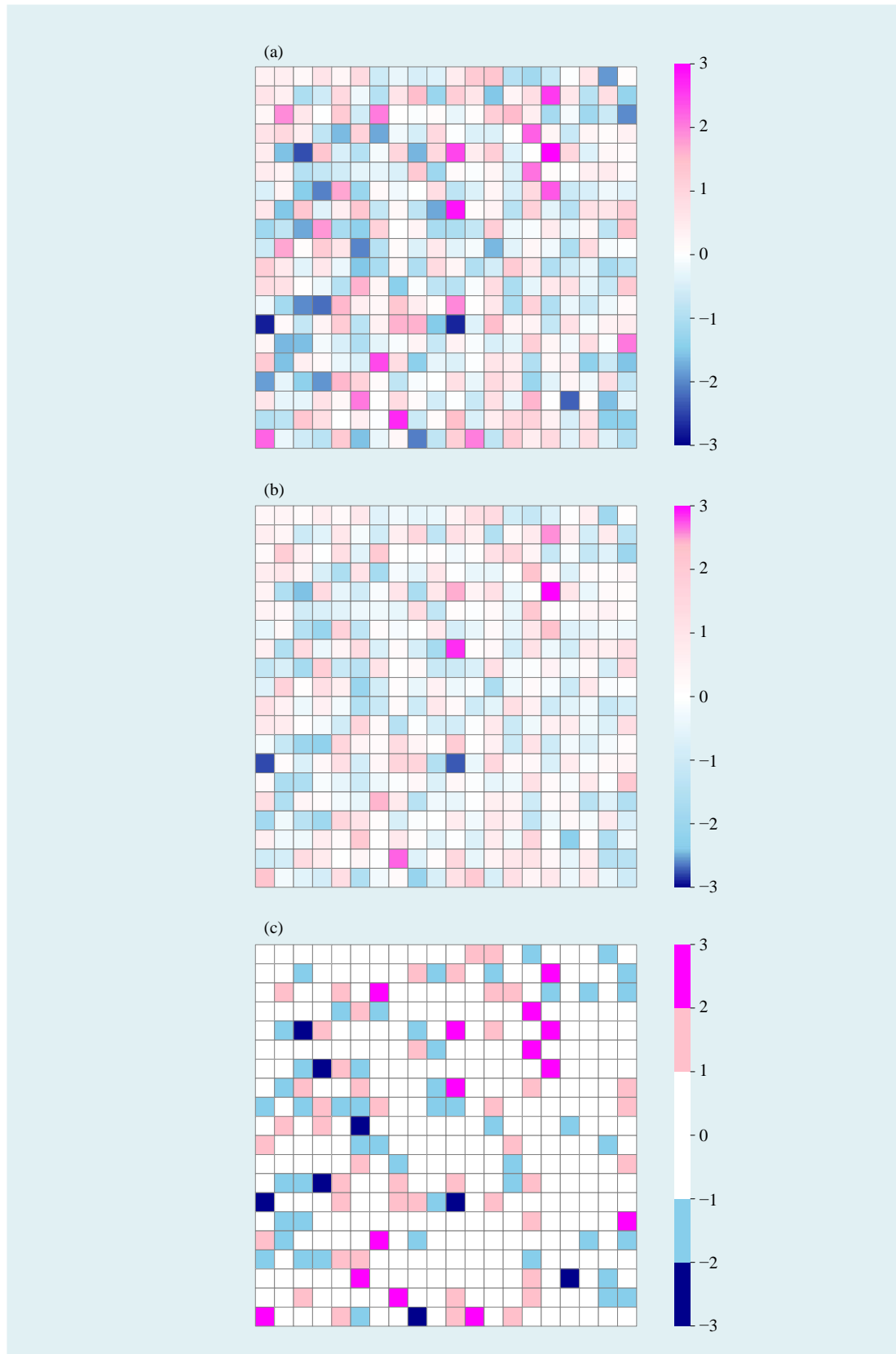

版权归清华大学出版社所有，请勿商用，引用请注明出处。

代码及 PDF 文件下载：<https://github.com/Visualize-ML>

本书配套微课视频均发布在 B 站——生姜 DrGinger: <https://space.bilibili.com/513194466>

欢迎大家批评指教，本书专属邮箱：[jiang.visualize.ml@gmail.com](mailto:jiang.visualize.ml@gmail.com)



图 26. 热图，使用自定义色谱 |  BK\_2\_Ch06\_07.ipynb

本 PDF 文件为作者草稿，发布目的为方便读者在移动终端学习，终稿内容以清华大学出版社纸质出版物为准。

版权归清华大学出版社所有，请勿商用，引用请注明出处。

代码及 PDF 文件下载：<https://github.com/Visualize-ML>

本书配套微课视频均发布在 B 站——生姜 DrGinger：<https://space.bilibili.com/513194466>

欢迎大家批评指教，本书专属邮箱：[jiang.visualize.ml@gmail.com](mailto:jiang.visualize.ml@gmail.com)