

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ БИООРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ
им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова
Российской академии наук
(ИБХ РАН)**

СОГЛАСОВАНО:
Ученый совет ИБХ РАН
Протокол № 9 от «02» ноября 2022г.



Ученый секретарь
д.ф.-м.н. В.А. Олейников
от «02» ноября 2022г.

УТВЕРЖДАЮ:
Директор ИБХ РАН



академик А.Г.Габибов
от «02» ноября 2022г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«ХИМИЯ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ»**

**Шифр и наименование
группы научных специальностей:**

- 1.5. Биологические науки
- 1.4. Химические науки

Уровень высшего образования: подготовка научных
и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Форма обучения: очная

Рабочая программа разработана в соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре программ в аспирантуре (Приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 г. № 951), утвержденным Учебным планом аспирантов на основании решения Учёного совета (Протокол № 9 от 02.11.2022 г.).

1. Краткая аннотация

Нуклеиновые кислоты ДНК и РНК присутствуют в клетках всех живых организмов и выполняют важнейшие функции по хранению, передаче и реализации наследственной информации. Усвоение аспирантами информации о физико-химических свойствах нуклеиновых кислот, методах их химической модификации, синтезе и применении конъюгатов нуклеиновых кислот сформирует углубленные знания в этой области.

2. Объем программы и виды учебной работы

Объём программы составляет 36 академических часов (1 зачётная единица).

Лекционно/семинарские занятия могут проводиться в очной форме или в формате онлайн на платформе Zoom.

3. Распределение аудиторных часов по темам и видам учебной работы:

№	Наименование тем дисциплины	Количество аудиторных часов, в том числе:			Самостоятельная работа (час)	Контроль (час)
		лекции	практические занятия (семинары)	Лабораторные работы		
1	Введение. Нуклеиновые кислоты как носитель наследственной информации. Химическая структура ДНК и РНК.	2				
2	Строение нуклеиновых кислот. Реализация генетической информации: репликация, транскрипция, трансляция. Неферментативные превращения, приводящие к мутациям ДНК. Секвенирование ДНК.	2				
3	Олигонуклеотидный синтез. Твердофазный автоматизированный синтез биополимеров.	2				
4	Выделение и очистка олигонуклеотидов: гель-электрофорез, обращённо-фазовая хроматография, ионообменная хроматография. Анализ олигонуклеотидов: капиллярный электрофорез, масс-спектрометрия.	2				
5	Флуоресцентные ДНК-зонды.	2				
6	НК-нанотехнология. Самоорганизация нуклеиновых кислот. Шпильки, сочленения, дискретные наноструктуры. Упорядоченные ДНК-слои. Динамические структуры.	2				
7	Модифицированные нуклеозиды и нуклеотиды в качестве противовирусных и противоопухолевых препаратов.	2				
8	ДНК-кодируемые динамические химические библиотеки, аптамеры. Аптамеры, SELEX, модификации аптамеров, шпигельмеры. ДНК-кодируемые библиотеки: получение и скрининг.	2				
9	Модификации в природных нуклеиновых кислотах.	2				
	Всего часов	18			14	4

4. Итоговый контроль

Зачёт проводится в виде сданного реферата на тему, предложенную в программе. Реферат проверяется на оригинальность в системе «Антиплагиат». Оригинальность содержательной части должна составлять не менее 75%.

Форма контроля	Индикаторы	Итоговый результат
Зачёт	Реферат полно и исчерпывающе раскрывает тему. Аспирант демонстрирует уверенные знания теории. Реферат раскрывает тему, но есть незначительные замечания, несущественные неточности. Реферат не полной мере раскрывает тему, есть существенные замечания. Имеются существенные неточности.	зачёт
	Реферат частично (в существенной его части) или полностью не раскрывает тему.	незачёт

5. Темы рефератов

1. Нуклеозиды, нуклеотиды: номенклатура. Олигонуклеотиды. Щелочной гидролиз РНК. Кислотная апуринизация. Окисление НК. Поглощение в УФ-области.
2. Строение двойной спирали ДНК, комплементарность оснований. Типы вторичной структуры ДНК. Плавление ДНК-дуплексов. ДНК-триплексы и тетраплексы.
3. Реализация генетической информации: репликация, транскрипция, трансляция.
4. Неферментативные превращения, приводящие к мутациям ДНК. Секвенирование ДНК.
5. Твердофазный автоматизированный синтез биополимеров. Защитные группы, синтетический цикл. Фосфодиэфирный, Н-фосфонатный и фосфамидитный методы олигонуклеотидного синтеза. Универсальный линкер.
6. Синтез олигомеров РНК. Источники примесей в олигонуклеотидном синтезе. Модификации олигонуклеотидов в автоматическом синтезаторе.
7. Пост-синтетическая модификация олигонуклеотидов. Выделение и очистка олигонуклеотидов: гель-электрофорез, обращённо-фазовая хроматография, ионообменная хроматография.
8. Анализ олигонуклеотидов: капиллярный электрофорез, масс-спектрометрия.
9. Флуоресценция; диаграмма Яблонского и Стоксов сдвиг. Флуоресцентные красители: ксантеновые (флуоресцеины, родамины), индокарбофаниновые, дифтордипиррометеновые.
10. Самоорганизация нуклеиновых кислот. Шпильки, сочленения, дискретные наноструктуры. Упорядоченные ДНК-слои. Динамические структуры.
11. Двумерные и трёхмерные структуры. НК-наноструктуры для терапии и диагностики. Химические методы для синтеза разветвлённых конъюгатов ДНК.

12. Металлизация ДНК. Конъюгаты с люминесцентными Ag-нанокластерами. Конъюгаты с Au- и другими наночастицами. «Сферические нуклеиновые кислоты». Средства доставки НК. Иммуно-ПЦР. Конъюгаты с малобороздочными лигандами.
13. ДНК-кодируемые динамические химические библиотеки, аптамеры. Аптамеры, SELEX, модификации аптамеров, шпигельмеры. ДНК-кодируемые библиотеки: получение и скрининг. Химические реакции на ДНК-матрицах.
14. Модификации в природных нуклеиновых кислотах.
15. Эпигенетика, метилирование цитозина и аденина в ДНК. Модифицированные нуклеозиды в РНК, методы их исследования.
16. Повреждение ДНК УФ-светом: тиминовые димеры. Эндогенное окислительное повреждение ДНК: гидроксильные радикалы, синглетный кислород и другие реакционноспособные формы кислорода.
17. Экзогенные факторы химического воздействия на ДНК: алкилирующие агенты, канцерогены. Механизм канцерогенного действия на примере бенз[а]пирена. Поперечные сшивки в ДНК, митомицин С, псорален. Ендионозные антибиотики.

6. Литература

К разделам 1 и 2.

- 1-2.1. Д.Д. Уотсон. Двойная спираль. М: Мир, 1969.
<http://www.chem.msu.su/rus/books/watson/welcome.html>
- 1-2.2. Э. Чаргафф. Белибердинское столпотворение.
<http://pochit.ru/himiya/72954/index.html>
- 1-2.3. Я. Кольман, К. Рём. Наглядная биохимия. М: Мир, 2004 (ISBN 5–03–003593–1)
- 1-2.4. D.L. Nelson, M.M. Cox, Lehninger principles of biochemistry, W.H. Freeman and Co., 2008 (ISBN 978-0-7167-7108-1); Д. Нельсон, М. Кокс. Основы биохимии Ленинджера. Учебник. В 3-х томах. М: Бином, 2017. Том 3. Пути передачи информации (ISBN 978-5-00101-248-1)
- 1-2.5. G.M. Blackburn, M.J. Gait, D. Loakes, D.M. Williams, Eds. Nucleic acids in chemistry and biology, 3rd Ed. RSC Publishing, 2006 (ISBN 978-0-85404-654-6)
- 1-2.6. S. Müller, Ed. Nucleic acids from A to Z. A concise encyclopedia, Wiley-VCH, 2008 (ISBN 978-3-527-31211-5)
- 1-2.7. P.Y. Bruice. Organic chemistry. 8th Ed. Pearson, 2017 (ISBN 9780134042282)

К разделу 3.

- 3.1. https://ru.wikipedia.org/wiki/Синтез_олигонуклеотидов
- 3.2. Caruthers M.H. Chemical synthesis of DNA and DNA analogues. Acc Chem Res 1991 24 278–284 (10.1021/ar00009a005)
- 3.3. Roy S. and Caruthers M. Synthesis of DNA/RNA and their analogs via phosphoramidite and H-phosphonate chemistries. Molecules 2013 18 14268–14284 (10.3390/molecules181114268)
- 3.4. Wei X. Coupling activators for the oligonucleotide synthesis via phosphoramidite approach. Tetrahedron 2013 69 3615–3637 (10.1016/j.tet.2013.03.001)
- 3.5. Glazier D.A. et al. Chemical synthesis and biological application of modified oligonucleotides. Bioconjugate Chem. 2020 31 1213–1233 (10.1021/acs.bioconjchem.0c00060)

3.6. Moai Y. and Kodama T. Recent developments of artificial functional oligo nucleic acids. *Tetrahedron Lett* 2020 61 151708 (10.1016/j.tetlet.2020.151708)

К разделу 4.

4.1. Wetmur J.G. DNA probes – applications of the principles of nucleic acid hybridization. *Crit Rev Biochem Mol Biol* 1991 26 227–259 (10.3109/10409239109114069)

4.2. J.R. Lakowicz. Principles of fluorescence spectroscopy, 3rd Ed. Springer, 2006 (ISBN 978-0387-31278-1)

4.3. Tyagi S. and Kramer F.R. Molecular beacons: probes that fluoresce upon hybridization. *Nat Biotechnol* 1996 14 303–308 (10.1038/nbt0396-303)

4.4. Tyagi S. et al. Multicolor molecular beacons for allele discrimination. *Nat Biotechnol* 1998 16 49–53 (10.1038/nbt0198-49)

4.5. Ranasinghe R.T. and Brown T. Fluorescence based strategies for genetic analysis. *Chem Commun* 2005 5487–5502 (10.1039/b509522k)

4.6. Huang J. et al. Design and bioanalytical applications of DNA hairpin-based fluorescent probes. *Tr Anal Chem* 2014 53 11–20 (10.1016/j.trac.2013.08.007)

4.7. Navarro E. et al. Real-time PCR detection chemistry. *Clin Chim Acta* 2015 439 231–250 (10.1016/j.cca.2014.10.017)

4.8. Zheng J. et al. Rationally designed molecular beacons for bioanalytical and biomedical applications. *Chem Soc Rev* 2015 44 3036–3055 (10.1039/c5cs00020c)

4.9. Quan K. et al. FRET-based nucleic acid probes: basic designs and applications in bioimaging. *Tr Anal Chem* 2020 124 115784 (10.1016/j.trac.2019.115784)

К разделу 5.

5.1. Seeman N. Nucleic acid junctions and lattices. *J Theor Biol* 1982 99 237–247 (10.1016/0022-5193(82)90002-9)

5.2. Chen J. and Seeman N.C. Synthesis from DNA of a molecule with the connectivity of a cube. *Nature* 1991 350 631–633 (10.1038/350631a0)

5.3. Zhang Y. and Seeman N.C. Construction of a DNA-truncated octahedron. *J Am Chem Soc* 1994 116 1661–1669 (10.1021/ja00084a006)

5.4. Rothmund P.W.K. Folding DNA to create nanoscale shapes and patterns. *Nature* 2006 440 297–302 (10.1038/nature04586)

5.5. Andersen E.S. et al. Self-assembly of a nanoscale DNA box with a controllable lid. *Nature* 2009 459 73–76 (10.1038/nature07971)

5.6. Inuma R. et al. Polyhedra self-assembled from DNA tripods and characterized with 3D DNA-PAINT. *Science* 2014 344 65–69 (10.1126/science.1250944)

5.7. Veneziano R. et al. Designer nanoscale DNA assemblies programmed from the top down. *Science* 2016 352 aaf4388 (10.1126/science.aaf4388)

5.8. Tikhomirov G. et al. Fractal assembly of micrometre-scale DNA origami arrays with arbitrary patterns. *Nature* 2017 552 67–71 (10.1038/nature24655)

5.9. Ong L.L. et al. Programmable self-assembly of three-dimensional nanostructures from 10,000 unique components. *Nature* 2017 552 72–77 (10.1038/nature24648)

5.10. Wagenbauer K.F. et al. Gigadalton-scale shape-programmable DNA assemblies. *Nature* 2017 552 78–83 (10.1038/nature24651)

5.11. Praetorius F. et al. Biotechnological mass production of DNA origami. *Nature* 2017 552 84–87 (10.1038/nature24650)

5.12. Seeman N.C. and Sleiman H.F. DNA nanotechnology. *Nat Rev Mater* 2018 3 17068 (10.1038/natrevmats.2017.68)

5.13. Wang X. et al. Paranemic crossover DNA: there and back again. *Chem Rev* 2019 119 6273–6289 (10.1021/acs.chemrev.8b00207)

- 5.14. Hu Q. et al. DNA nanotechnology-enabled drug delivery systems. *Chem Rev* 2019 119 6459–6506 (10.1021/acs.chemrev.7b00663)
- 5.15. Xiao M. et al. Rationally engineered nucleic acid architectures for biosensing applications. *Chem Rev* 2019 119 11631–11717 (10.1021/acs.chemrev.9b00121)
- 5.16. Mohapatra S. et al. Single-molecule analysis and engineering of DNA motors. *Chem Rev* 2020 120 36–78 (10.1021/acs.chemrev.9b00361)
- 5.17. Dong Y. et al. DNA functional materials assembled from branched DNA: design, synthesis, and applications. *Chem Rev* 2020 120 9420–9481 (10.1021/acs.chemrev.0c00294)
- 5.18. Ramezani H. and Dietz H. Building machines with DNA molecules. *Nat Rev Genet* 2020 21 17068 (10.1038/s41576-019-0175-6)

К разделу 6.

- 6.1. Kaur H. et al. Perspectives on chemistry and therapeutic applications of locked nucleic acid (LNA). *Chem Rev* 2007 107 4672–4697 (10.1021/cr050266u)
- 6.2. Hagedorn P.H. et al. Locked nucleic acid: modality, diversity, and drug discovery. *Drug Discov Today* 2018 23 101–114 (10.1021/cr050266u)
- 6.3. Jordheim P.P. et al. Advances in the development of nucleoside and nucleotide analogues for cancer and viral diseases. *Nat Rev Drug Discov* 2013 12 447–464 (10.1038/nrd4010)
- 6.4. De Clercq E. C-Nucleosides to be revisited. *J Med Chem* 2016 59 2301–2311 (10.1021/acs.jmedchem.5b01157)
- 6.5. Cavaliere A. et al. Fluorinated nucleosides as an important class of anticancer and antiviral agents. *Future Med Chem* 2017 9 1809–1933 (10.4155/fmc-2017-0095)
- 6.6. Seley-Radtke K.L. and Yates M.K. The evolution of nucleoside analogue antivirals: A review for chemists and non-chemists. Part 1: Early structural modifications to the nucleoside scaffold. *Antivir Res* 2018 154 66–86 (10.1016/j.drudis.2017.09.018)
- 6.7. Yates M.K. and Seley-Radtke K.L. The evolution of antiviral nucleoside analogues: A review for chemists and non-chemists. Part II: Complex modifications to the nucleoside scaffold. *Antivir Res* 2019 162 5–21 (10.1016/j.antiviral.2018.11.016)
- 6.8. Gizzi A.S. et al. A naturally occurring antiviral ribonucleotide encoded by the human genome. *Nature* 2018 558 610–614 (10.1038/s41586-018-0238-4)

К разделу 7.

- 7.1. Braun E. et al. DNA-templated assembly and electrode attachment of a conducting silver wire. *Nature* 1998 391 775–778 (10.1038/35826)
- 7.2. Mertig M. et al. DNA as a selective metallization template. *Nano Lett* 2002 2 841–844 (10.1021/nl025612r)
- 7.3. Berti L. et al. DNA-templated photoinduced silver deposition. *J Am Chem Soc* 2005 127 11216–11217 (10.1021/ja052461w)
- 7.4. Schreiber R. et al. DNA origami-templated growth of arbitrarily shaped metal nanoparticles. *Small* 2011 7 1795–1799 (10.1002/smll.201100465)
- 7.5. Chen Z. et al. DNA metallization: principles, methods, structures, and applications. *Chem Soc Rev* 2018 47 4017–4072 (10.1002/smll.201100465)
- 7.6. Jia S. et al. Programming DNA origami patterning with noncanonical DNA-based metallization reactions. *Nat Commun* 2019 10 5597 (10.1038/s41467-019-13507-5)
- 7.7. Zhou F. et al. Programmably shaped carbon nanostructure from shape-conserving carbonization of DNA. *ACS Nano* 2016 10 3069–3077 (10.1021/acsnano.5b05159)

- 7.8. Liu X. et al. Complex silica composite nanomaterials templated with DNA origami. *Nature* 2018 559 593–598 (10.1038/s41586-018-0332-7)
 - 7.9. Nguyen L. et al. DNA-origami-templated silica growth by sol–gel chemistry. *Angew Chem Int Ed* 2019 58 912–916 (10.1002/anie.201811323)
 - 7.10. Shai L. et al. DNA-assembled superconducting 3D nanoscale architectures. *Nat Commun* 2020 11 5697 (10.1038/s41467-020-19439-9)
люминесцентные нанокластеры серебра на ДНК
 - 7.11. Petty J.T. et al. DNA-templated Ag nanocluster formation. *J Am Chem Soc* 2004 126 5207–5212 (10.1021/ja031931o)
 - 7.12. Gwinn E.G. et al. Sequence-dependent fluorescence of DNA-hosted silver nanoclusters. *Adv Mater* 2008 20 279–283 (10.1002/adma.200702380)
 - 7.13. Richards C.I. et al. Oligonucleotide-stabilized Ag nanocluster fluorophores. *J Am Chem Soc* 2008 130 5038–5039 (10.1021/ja8005644)
 - 7.14. Han B. and Wang E. DNA-templated fluorescent silver nanoclusters. *Anal Bioanal Chem* 2012 402 129–138 (10.1007/s00216-011-5307-6)
 - 7.15. Latorre A. and Somoza A. DNA-mediated silver nanoclusters: synthesis, properties and applications. *ChemBioChem* 2012 13 951–958 (10.1002/cbic.201200053)
 - 7.16. New S.Y. et al. DNA-templated silver nanoclusters: structural correlation and fluorescence modulation. *Nanoscale* 2016 8 17729–17746 (10.1039/c6nr05872h)
 - 7.17. Ceczy R. et al. Formation and structure of fluorescent silver nanoclusters at interfacial binding sites facilitating oligomerization of DNA hairpins. *Angew Chem Int Ed* 2020 59 16091–16097 (10.1002/anie.202005102)
 - 7.18. Xu J. et al. Recent advances in the bioanalytical and biomedical applications of DNA-templated silver nanoclusters. *Tr Anal Chem* 2020 124 115786 (10.1016/j.trac.2019.115786)
 - 7.19. Thomas M. and Klivanov A.M. Conjugation to gold nanoparticles enhances polyethylenimine’s transfer of plasmid DNA into mammalian cells. *Proc Natl Acad Sci USA* 2003 100 9138–9143 (10.1073/pnas.1233634100)
 - 7.20. Graczyk A. et al. Gold nanoparticles in conjunction with nucleic acids as a modern molecular system for cellular delivery. *Molecules* 2020 25 204 (10.3390/molecules25010204)
 - 7.21. Cutler J.I. et al. Polyvalent nucleic acid nanostructures. *J Am Chem Soc* 2011 133 9254–9257 (10.1021/ja203375n)
 - 7.22. Cutler J.I. et al. Spherical nucleic acids. *J Am Chem Soc* 2012 134 1376–1391 (10.1021/ja209351u)
 - 7.23. Choi C.H.J. et al. Mechanism for the endocytosis of spherical nucleic acid nanoparticle conjugates. *Proc Natl Acad Sci USA* 2013 110 7625–7630 (10.1073/pnas.1305804110)
 - 7.24. Li H. et al. Molecular spherical nucleic acids. *Proc Natl Acad Sci USA* 2018 115 4340–4344 (10.1073/pnas.1801836115)
 - 7.25. Afonina I.A. et al. Minor groove binder-conjugated DNA probes for quantitative DNA detection by hybridization-triggered fluorescence. *BioTechniques* 2002 32 940–949 (10.2144/02324pf01)
- К разделу 8.
- 8.1. Hermann T. and Patel D.J. Biochemistry – adaptive recognition by nucleic acid aptamers. *Science* 2000 287 820–825 (10.1126/science.287.5454.820)
 - 8.2. Nimjee S.M. et al. Aptamers: an emerging class of therapeutics. *Annu Rev Med* 2005 56 555–583 (10.1146/annurev.med.56.062904.144915)

- 8.3. Stoltenburg R. et al. SELEX – a (r)evolutionary method to generate high-affinity nucleic acid ligands. *Biomol Eng* 2007 24 381–403 (10.1016/j.bioeng.2007.06.001)
- 8.4. Famulok M. et al. Functional aptamers and aptazymes in biotechnology, diagnostics, and therapy. *Chem Rev* 2007 107 3715–3743 (10.1021/cr0306743)
- 8.5. Bunka D.H.J. and Stockley P.G. Aptamers come of age – at last. *Nat Rev Microbiol* 2006 4 588–596 (10.1038/nrmicro1458)
- 8.6. Keefe A.D. et al. Aptamers as therapeutics. *Nat Rev Drug Discov* 2010 9 537–550 (10.1038/nrd3141)
- 8.7. Zhou J.H. and Rossi J. Aptamers as targeted therapeutics: current potential and challenges. *Nat Rev Drug Discov* 2017 16 181–202 (10.1038/nrd.2016.199)
- 8.8. Munzar J.D. et al. Duplexed aptamers: history, design, theory, and application to biosensing. *Chem Soc Rev* 2019 48 1390–1419 (10.1039/c8cs00880a)
- 8.9. Vater A. and Klussmann S. Turning mirror-image oligonucleotides into drugs: the evolution of Spiegelmer therapeutics. *Drug Discov Today* 2015 20 147–155 (10.1016/j.drudis.2014.09.004)
- 8.10. Micura R. and Hobartner C. Fundamental studies of functional nucleic acids: aptamers, riboswitches, ribozymes and DNAzymes. *Chem Soc Rev* 2020 49 7331–7353 (10.1039/d0cs00617c)
- 8.11. Li L. et al. Nucleic acid aptamers for molecular diagnostics and therapeutics: advances and perspectives. *Angew Chem Int Ed* 2021 60 2221–2231 (10.1002/anie.202003563)
- 8.12. Melkko S. et al. Lead discovery by DNA-encoded chemical libraries. *Drug Discov Today* 2007 12 465–471 (10.1016/j.drudis.2007.02.013)
- 8.13. Clark M.A. et al. Design, synthesis and selection of DNA-encoded small-molecule libraries. *Nat Chem Biol* 2009 5 647–654 (10.1038/nchembio.211)
- 8.14. Kleiner R.E. et al. Small-molecule discovery from DNA-encoded chemical libraries. *Chem Soc Rev* 2011 40 5707–5717 (10.1039/c1cs15076f)
- 8.15. Krall N. et al. Small targeted cytotoxics: current state and promises from DNA-encoded chemical libraries. *Angew Chem Int Ed* 2013 52 1384–1402 (10.1002/anie.201204631)
- 8.16. Franzini R.M. et al. DNA-encoded chemical libraries: advancing beyond conventional small-molecule libraries. *Acc Chem Res* 2014 47 1247–1255 (10.1021/ar400284t)
- 8.17. Decurtins W. et al. Automated screening for small organic ligands using DNA-encoded chemical libraries. *Nat Protocols* 2016 11 764–780 (10.1038/nprot.2016.039)
- 8.18. Goodnow R.A., Jr. et al. DNA-encoded chemistry: enabling the deeper sampling of chemical space. *Nat Rev Drug Discov* 2017 16 131–147 (10.1038/nrd.2016.213)
- 8.19. Neri D. and Lerner R.A. DNA-encoded chemical libraries: a selection system based on endowing organic compounds with amplifiable information. *Annu Rev Biochem* 2018 87 479–502 (10.1146/annurev-biochem-062917-012550)
- 8.20. Flood D.T. et al. Expanding reactivity in DNA-encoded library synthesis via reversible binding of DNA to an inert quaternary ammonium support. *J Am Chem Soc* 2019 141 9998–10006 (10.1021/jacs.9b03774)
- 8.21. Dickson P. and Kodalek T. Chemical composition of DNA-encoded libraries, past present and future. *Org Biomol Chem* 2019 17 4676–4688 (10.1039/c9ob00581a)
- 8.22. Xu H. et al. A chemistry for incorporation of selenium into DNA-encoded libraries. *Angew Chem Int Ed* 2020 59 13273–13280 (10.1002/anie.202003595)