

国家标准

《土壤水稳性团聚体的测定》

Measurement of the stability of soil aggregates subjected to the
action of water

编制说明

(工作组讨论稿)

《土壤水稳性团聚体的测定》编制组

二〇二六年三月

目 录

1 工作简况.....	1
1.1 编制背景及意义.....	1
1.2 任务来源.....	2
1.3 起草过程.....	2
1.3.1 成立标准编制组.....	2
1.3.2 起草及试验阶段.....	2
1.3.3 征求意见阶段.....	3
1.4 主要参与单位和工作组成员及分工.....	3
2 国家标准编制原则、主要内容及其确定依据.....	3
2.1 基本原则.....	3
2.2 国内外标准分析.....	4
2.3 主要技术内容及确定依据.....	4
2.3.1 标准适用范围.....	4
2.3.2 规范性引用文件.....	4
2.3.3 主要内容.....	5
3 试验验证.....	9
3.1 方法精密度.....	12
3.1.1 检测单位：浙江科技大学.....	12
3.1.2 检测单位：中国科学院南京土壤研究所.....	14
3.1.3 检测单位：中国农业科学院农业资源与农业区划研究所.....	17
3.1.4 检测单位：广东省农业科学院农业资源与环境研究所.....	19
3.2 准确性检验.....	21
3.2.1 验证思路与范围说明.....	21
3.2.2 验证目的.....	22
3.2.3 验证依据.....	23
3.2.4 验证样品.....	23
3.2.5 数据处理.....	29
3.2.6 误差分析.....	29
3.2.7 预期的经济效益、社会效益和生态效益.....	31
4 采用国际标准和国内外先进标准的情况.....	33
5 以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准.....	33
6 与现行法律、法规、标准的协调性.....	34
7 重大分歧意见的处理经过和依据.....	34
8 涉及专利的有关说明.....	35
9 实施国家标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议.....	35
10 其他说明事项.....	35

1 工作简况

1.1 编制背景及意义

土壤团聚体是土壤所含的大小、形状各不相同、有不同孔隙度和机械稳定性及水稳性团聚体的总和。土壤水稳性团聚体是指在水文过程中能够保持其结构完整性和不易瓦解的土壤团聚体,能够抵抗水流、风蚀和机械破坏等外部影响,同时保持其孔隙结构和通气性,有利于根系发育、水分渗透、土壤养分循环、提高土壤质量和促进植物生长。这些团聚体在受到水分侵蚀或冲刷时能够保持稳定,不轻易崩解,起到了保护土壤免受水力侵蚀、抗冲击和稳定土壤结构的作用。土壤团聚体的水稳性是指示土壤质量的重要指标之一,其研究对于减少土壤侵蚀和水土流失、提高土壤养分利用率和水分利用效率、优化农业生产实践、维护土壤质量和生态系统稳定等方面具有重要意义。我国科学家在土壤团聚体水稳性的研究中扮演重要的角色,相关研究成果极大程度上为土壤保护、水土资源管理和生态环境保护提供了宝贵的科学依据和实践指导,在推动土壤科学领域发展和中国生态文明建设方面发挥着重要作用。

干筛法和湿筛法是测定土壤水稳性团聚体所涉及的方法。干筛法主要用于测定土壤团聚体的大小分布,即不同粒径团聚体的含量比例;湿筛法主要用于测定土壤水稳性团聚体的含量,即能够抵抗水流冲刷的团聚体比例。干筛法反映了土壤结构的粗细程度,可以初步判断土壤团聚体的大小,常被用于比较不同土壤的团聚体大小差异;湿筛法模拟了自然界中降雨或灌溉时土壤受到水流冲刷的情况,能够更准确地反映土壤结构的稳定性。在单独使用干筛法时,仅考虑了土壤团聚体的大小,而忽略了其稳定性。一些比较大的团聚体,可能只是因为相互间松散堆积在一起,在受到水流冲刷时很容易解体。因此,在测定土壤水稳性团聚体时,应同时采用干筛法和湿筛法,并结合两者结果来全面评价土壤结构的稳定性。通过上述测定方法可以揭示土壤团聚体的水稳性,为理解土壤结构的演变、土壤侵蚀的影响以及土壤改良和保护提供重要依据。

1.2 任务来源

根据 2025 年 3 月 27 日国家标准化管理委员会关于下达 2025 年第三批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知（国标委发【2025】12 号），国家标准项目《土壤水稳性团聚体的测定》正式获批立项，计划号为：20250943-T-326，由全国土壤质量标准化技术委员归口，农业农村部为主管单位，周期为 18 个月。本标准方法类标准，其国际标准分类号（ICS）为 13.080.30。主要起草单位：浙江大学、中国科学院南京土壤研究所、农业农村部农业生态与资源保护总站、南京农业大学、华中农业大学、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所、江苏省质量和标准化研究院、中国科学院生态环境研究中心、中国科学院沈阳应用生态研究所。

1.3 起草过程

1.3.1 成立标准编制组

2025 年 3 月，承担单位迅速组建了标准编制组，由项目负责人担任组长，吸纳了各参与单位的技术骨干力量。编制组成员包括浙江大学、中国科学院南京土壤研究所、农业农村部农业生态与资源保护总站、南京农业大学、华中农业大学、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所、江苏省质量和标准化研究院、中国科学院生态环境研究中心、中国科学院沈阳应用生态研究所等机构的相关专家和专业人员。编制组组建后立即对项目任务进行了分解和分工，并完成了相关工作文件的填报。团队成员中既有长期从事土壤检测分析的专业技术人员，也包含具备丰富标准制修订经验的核心成员。

1.3.2 起草及试验阶段

2026 年 3 月，完成标准起草及方法验证工作，将完成的该标准的征求意见稿和编制说明提交全国土壤质量标准化技术委员会征求意见。

参与验证的单位有：浙江大学、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所、中国科学院南京土壤研究所、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所、广东省农业科学院农业资源与环境研究所。

1.3.3 征求意见阶段

2026年3月底，标准起草组按计划通过全国土壤质量标准化技术委员会向相关单位发出征求意见函，并组织完成多轮方法验证。截至征求意见截止，共收到XX家单位回函，其中XX家提出具体意见，征集到专家意见XX条。经起草组逐条研讨，采纳XX条、部分采纳XX条、未采纳XX条，并据此结合标准编写规范对文本进行了修改。

1.4 主要参与单位和工作组成员及分工

浙江大学作为牵头单位，主要方法制定工作的组织、协调，相关资料的查阅、收集，方法文本及编制说明的起草、撰写，组织召开多次研讨会，通过电子邮件等方式，征集、整理和归纳相关的意见和建议。

中国科学院南京土壤研究所、农业农村部农业生态与资源保护总站、南京农业大学、华中农业大学、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所、江苏省质量和标准化研究院、中国科学院生态环境研究中心、中国科学院沈阳应用生态研究所等各单位主要参与标准制定并填写报告，期间提出相关建议与意见等。

2 国家标准编制原则、主要内容及其确定依据

2.1 基本原则

目的性明确：标准编订的目的是建立一种测定土壤水稳性团聚体的标准方法，用于科学评估土壤结构稳定性、监测耕地质量变化、指导土壤改良与生态保护工作，并为相关科学研究、技术规范与政策制定提供统一、可靠的技术依据。

可操作性强：标准采用的测定方法原理简单、操作简便易行，具有普适性和通用性。

科学性可靠：内容上参考国内外已发表相关分析方法和文献，确保标准采用方法的科学性和先进性。

2.2 国内外标准分析

国内目前没有和《土壤水稳性团聚体的测定》相关的国家标准，仅有行业标准：NY/T 1121.19-2008《土壤检测 第 19 部分：土壤水稳性大团聚体组成的测定》。近二十年来，国内学者采用多种方法测定土壤水稳性团聚体，对此进行了大量研究并发表了相关文章，但是并没有形成统一的相关标准，不同的实验室方法在分析土壤团聚体的水稳性过程中各有差异。

自 20 世纪 50 年代以来，随着土壤科学的发展和研究方法的不断改进，对土壤团聚体结构和稳定性的研究逐渐增多并深化。特别是在 20 世纪 70 年代以后，关于土壤团聚体稳定性的实验方法和理论研究逐渐成熟，相关文献和研究论文也开始逐渐增多，主要以美国、法国、荷兰等国家为主。ISO 国际标准化组织也已经建立了土壤水稳性团聚体的测定方法。其国际标准 ISO 10930-2012.3138 采用了快速、慢速湿润及酒精浸润方法测定土壤水稳性团聚体。

本项目参考行业标准 NY/T 1121.19-2008《土壤检测 第 19 部分：土壤水稳性大团聚体组成的测定》及第三次土壤普查中使用的测定水稳性团聚体的方法，在充分总结国内外多年实践经验和科研成果的基础上，对原有方法的操作步骤、技术参数及结果表达等进行了系统性梳理、细化和必要的补充，旨在形成更具可操作性、统一性和科学性的国家标准，进一步提升该方法在我国不同区域、不同土壤类型条件下的适用性与结果可比性。

2.3 主要技术内容及确定依据

2.3.1 标准适用范围

本标准规定了利用干筛和湿筛法测定土壤水稳性团聚体的仪器设备、分析步骤、结果计算、质量保证和质量控制以及试验报告的内容和要求。

本标准适用于各类土壤中水稳性团聚体的测定。

2.3.2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文

件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

NY/T 52 土壤水分的测定

NY/T 1121.1-2006 土壤检测 第1部分：土壤样品的采集、处理和贮存

GB/T 6379.1 《测量方法与结果的准确度（正确度与精密度） 第1部分：总则与定义》

2.3.3 主要内容

2.3.3.1 土壤样品的采集

2.3.3.1.1 选取不黏附采样工具且保持自然结构不变形的土壤为采集对象。

2.3.3.1.2 田间采样应采用多点混合法，选取具有代表性的采样点，采样点应能代表采样区域的整体土壤状况，避开田边、路边、沟边、施肥点、积水处等特殊位置，并按 0-20cm 深度范围采集。

2.3.3.1.3 样品采集应使用洁净无污染的采样工具，避免二次污染。

2.3.3.1.4 采样时应保持土壤原有结构，避免挤压或破坏土体。

2.3.3.1.5 采集的样品需去除与采样工具接触面可能变形的部分，保留约 2.0kg 原始土样。

2.3.3.1.6 样品运输应采用刚性容器（如木盒或白铁盒），确保土样在运输过程中不发生位移或受压变形，以保持样品的原始性状。

2.3.3.2 土壤样品的制备

2.3.3.2.1 土壤样品的采集应符合 NY/T 1121.1-2006 的规定。

2.3.3.2.2 为保证土壤样品的稳定性及后续分析结果的准确性，应在取样后及时进行土壤团聚体制备。

2.3.3.2.3 将采集的土壤样品沿自然结构剥离成直径约 10 mm 的土块，剔除根系、石砾及植物残体等杂质后，置于阴凉、通风、无污染的环境中自然风干。

2.3.3.2.4 风干过程应避免阳光直射和高温环境，防止样品性质发生改变；风干时间视环境条件而定，通常需要数天至数周完成。

2.3.3.2.5 风干后的样品应密封保存于洁净容器中，避免与空气接触导致吸湿

或污染。

2.3.3.2.6 分析前需将风干土样充分混匀，制备成具有代表性的待测样品。整个制备过程应保持土壤原始结构，避免机械破坏。

2.3.3.2.7 样品保存期间应置于阴凉、干燥、通风处，避免阳光直射和高温；需流转至其他实验室时，应将样品置于刚性容器（如木盒或白铁盒）内，运输过程中避免剧烈震动和挤压，保持样品原始结构。

2.3.3.2.8 土壤水分的测定应符合 NY/T 52 的规定。

2.3.3.3 干筛

2.3.3.3.1 称取 500 g 风干土样（精确至 0.01 g），将样品均匀置于由 10 mm、7 mm、5 mm、3 mm、2 mm、1 mm、0.5 mm、0.2 mm、0.1 mm 和 0.05 mm 标准筛子组成的筛组最上层（含筛盖和筛底）。

2.3.3.3.2 以适当力度水平摇动筛组进行筛分，持续 10 min 或至筛网上样品质量不再明显减少为止。

2.3.3.3.3 依次取下各层筛网，轻拍筛壁使附着团聚体落入相应筛层；分别收集 <0.05 mm、0.05-0.1 mm、0.1-0.2 mm、0.2-0.5 mm、0.5-1 mm、1-2 mm、2-3 mm、3-5 mm、5-7 mm、7-10 mm 及 >10 mm 粒径范围的团聚体，精确称量各粒径段样品质量（精确至 0.01 g），计算其质量百分比。

2.3.3.3.4 整个操作过程应避免剧烈震动，保持团聚体结构完整性。

2.3.3.4 湿筛

2.3.3.4.1 根据 6.3 中测得的各级团聚体百分含量，按比例称取 50.00 g 干筛样品。

2.3.3.4.2 将配好的样品转移至 1 L 沉降筒中，沿筒壁缓慢注水使样品自下而上充分湿润至饱和状态。

2.3.3.4.3 浸泡 10 min 后加水至标线，塞紧筒口，立即将沉降筒完全倒置使样品沉淀至筒口处，再反向倒置使样品完全沉淀至筒底，重复倒转 10 次。

2.3.3.4.4 将一套由 5 mm、3 mm、2 mm、1 mm、0.5 mm、0.2 mm、0.1 mm 和 0.05 mm 筛子组成的筛组用金属夹固定，浸入盛水容器中，保持水面高出筛组

上缘 10 cm。

2.3.3.4.5 将沉降筒倒置使筒口与最上层筛网接触，待样品完全沉淀后拔除塞子使样品均匀分布于筛面，待团聚体完全沉淀后盖上塞子取出沉降筒。

2.3.3.4.6 保持筛组浸没状态，缓慢上下提沉 5 次（确保水面不漫过筛顶）。

2.3.3.4.7 分离筛组，将 5 mm、3 mm 和 2 mm 筛取出，对 1 mm、0.5 mm、0.2 mm、0.1 mm 和 0.05 mm 筛组重复提沉操作 5 次以洗净下层筛组中水稳性团聚体的表面附着物。

2.3.3.4.8 将各级筛网上的团聚体分别转移至恒重大号铝盒中，先于 60-70° C 烘至近干，再在 105° C 下干燥 6 h。

2.3.3.4.9 冷却至室温后称重，重复干燥至恒重，计算各级水稳性团聚体百分含量。所有称量操作精确至 0.01 g。

2.3.3.5 <0.05 mm 粒径的水稳性团聚体含量验证

2.3.3.5.1 根据 6.3 中测得的各级团聚体百分含量，按比例称取 50.00 g 干筛样品。

2.3.3.5.2 将配好的样品转移至 1 L 沉降筒中，沿筒壁缓慢注水使样品自下而上充分湿润至饱和状态。

2.3.3.5.3 浸泡 10 min 后加水至标线，塞紧筒口，立即将沉降筒完全倒置使样品沉淀至筒口处，再反向倒置使样品完全沉淀至筒底，重复倒转 10 次。

2.3.3.5.4 使用颗粒分析吸管（装置示意图及标引序号说明参见附录 A，测试所用的土壤颗粒分析吸管装置参见图 A.1。）测定悬液温度，查土壤颗粒分析各级土粒吸取时间表（不同温度下的吸液时间参见附录 B），找出对应微团聚体的吸液时间。

2.3.3.5.5 用塞子塞紧沉降筒口，上下颠倒 1 min，各约 30 次，使悬液均匀分布。再按粒级相应的沉降时间，用 25 mL 颗粒分析吸管吸取 <0.05 mm 粒级悬液，移入已恒重的 50 mL 烧杯中。

2.3.3.5.6 用蒸馏水冲洗吸管，使附于管壁的悬液全部移入 50 mL 烧杯中。

2.3.3.5.7 将装有悬液的烧杯置于电热板上蒸干后，放入烘箱（105°C~110°C）中烘至恒重，取出后放入干燥器内冷却至室温，称重（精确到两位小数）。

2.3.3.5 结果计算

土壤水稳性团聚体干基重量，以百分含量（%）表示，按式（1）计算。

$$m_0 = \frac{m}{w+100} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

m_0 ——按比例配成的土壤扣除水分后的干基重量，单位为（g）；

m ——按比例配成的风干土壤质量，单位为（g）；

w ——土壤水分含量（烘干基），单位为百分数（%）。

各级水稳性团聚体的百分含量，按式（2）计算。

$$x_i = \frac{m_i}{m_0} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

x_i ——各级水稳性团聚体的百分含量，单位为百分数（%）；

m_i ——各级水稳性团聚体烘干质量，单位为克（g）；

m_0 ——按比例配成的土壤扣除水分后的干基质量，单位为克（g）。

水稳性团聚体团聚体总和，按式（3）计算。

$$X = \sum_1^n x_i \dots\dots\dots (3)$$

式中：

X ——水稳性团聚体团聚体总和

x_i ——各级水稳性团聚体的百分含量，单位为百分数（%）；

各级水稳性团聚体占水稳性团聚体总和的百分含量，按式（4）计算。

$$P_i = \frac{x_i}{X} \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

式中：

P_i 为各级水稳性团聚体占水稳性团聚体总和的百分含量，单位为百分数（%）。

X——水稳性团聚体团聚体总和

x_i ——各级水稳性团聚体的百分含量，单位为百分数（%）。

2.3.3.6 结果表示

平行测定结果以算术平均值表示，结果保留 2 位小数。

2.3.3.7 精密度

试验的准确性和精密度应符合 GB/T 6379.1 的规定。

3 试验验证

为确保《土壤水稳性团聚体的测定》标准中所规定方法的科学性、准确性和适用性，编制组组织了浙江大学、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所、中国科学院南京土壤研究所、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所、广东省农业科学院农业资源与环境研究所等多家实验室进行了全面的方法验证。验证工作依据 GB/T 6379《测量方法与结果的准确度（正确度与精密度）》的要求进行。该标准普适性强，适用于包括土壤在内的固体物料，且其评定方法针对连续量测量（如本方法中的质量百分比数据），不依赖于特定仪器类型，与本方法的物理性质测定特性高度契合。本次验证主要考察了方法的精密度和正确度等关键技术指标，并选取了五种具有代表性的土壤类型，分别为：黏壤土（东北黑土区）、砂土（陕西咸阳）、黏壤土（浙江绍兴水稻田）、砂质黏壤土（浙江杭州果园）、粉砂质壤土（甘肃黄土高原），依次记为样品①、②、③、④、⑤。浙江大学试验结果见表 3-1 至 3-3。

表3-1 土壤水分、按比配成土壤扣除水分干基质量 m_0 （g）及各级水稳性团聚体烘干质量 m_i （g）

样品	次数	水分%	m ₀ (%)		m _i (g)							
					>5	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05
①	1	5.11	47.57	0.06	0.12	0.61	4.82	19.68	6.94	0.11	1.04	0.40
	2	5.10	47.57	0.05	0.09	0.65	4.76	19.75	6.87	0.15	0.99	0.41

	3	5.11	47.57	0.04	0.16	0.57	4.88	19.61	7.01	0.07	1.09	0.39
	平均值	5.11	47.57	0.05	0.12	0.61	4.82	19.68	6.94	0.11	1.04	0.40
	标准差	0.01	0.00	0.01	0.04	0.04	0.06	0.07	0.07	0.04	0.05	0.01
	1	1.80	49.12	2.24	0.33	0.37	0.56	1.27	4.44	11.91	5.64	0.47
	2	1.80	49.12	2.29	0.28	0.42	0.52	1.32	4.38	11.84	5.71	0.46
②	3	1.80	49.12	2.19	0.38	0.33	0.60	1.22	4.50	11.98	5.57	0.48
	平均值	1.80	49.12	2.24	0.33	0.37	0.56	1.27	4.44	11.91	5.64	0.47
	标准差	0.00	0.00	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07	0.01
	1	8.74	45.98	18.44	4.43	4.17	5.16	3.57	2.84	1.21	0.94	0.03
	2	8.72	45.99	18.28	4.52	4.09	5.08	3.66	2.75	1.29	1.00	0.03
③	3	8.73	45.99	18.61	4.34	4.25	5.24	3.48	2.93	1.13	0.88	0.02
	平均值	8.73	45.99	18.44	4.43	4.17	5.16	3.57	2.84	1.21	0.94	0.03
	标准差	0.01	0.00	0.17	0.09	0.08	0.08	0.09	0.09	0.08	0.06	0.01
	1	5.09	47.58	5.34	2.83	1.47	1.16	1.57	15.14	10.41	0.84	0.50
	2	5.09	47.58	5.39	2.75	1.53	1.10	1.63	15.23	10.32	0.90	0.51
④	3	5.08	47.58	5.48	2.91	1.41	1.22	1.51	15.05	10.50	0.78	0.49
	平均值	5.09	47.58	5.40	2.83	1.47	1.16	1.57	15.14	10.41	0.84	0.50
	标准差	0.01	0.00	0.07	0.08	0.06	0.06	0.06	0.09	0.09	0.06	0.01
	1	2.64	48.71	0.44	0.93	0.87	1.06	1.77	14.34	11.21	2.04	0.30
	2	2.66	48.70	0.50	0.86	0.94	1.00	1.85	14.24	11.30	1.96	0.31
⑤	3	2.66	48.70	0.38	1.00	0.80	1.12	1.69	14.44	11.12	2.12	0.29
	平均值	2.65	48.71	0.44	0.93	0.87	1.06	1.77	14.34	11.21	2.04	0.30
	标准差	0.01	0.01	0.06	0.07	0.07	0.06	0.08	0.10	0.09	0.08	0.01

表3-2 各级水稳性团聚体的百分含量 x_i (%)

样品	次数	x_i (%)								
		>5	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	<0.05
①	1	0.12	0.25	1.29	10.13	41.37	14.59	0.23	2.19	0.84
	2	0.11	0.19	1.37	10.01	41.51	14.44	0.32	2.08	0.86
	3	0.08	0.34	1.20	10.26	41.22	14.74	0.15	2.29	0.82
	平均值	0.10	0.26	1.29	10.13	41.37	14.59	0.23	2.19	0.84
	标准差	0.02	0.07	0.08	0.13	0.15	0.15	0.08	0.11	0.02
②	1	4.56	0.67	0.75	1.14	2.59	9.04	24.25	11.48	0.96
	2	4.66	0.57	0.86	1.06	2.69	8.92	24.11	11.63	0.94
	3	4.46	0.77	0.67	1.22	2.48	9.16	24.39	11.34	0.98
	平均值	4.56	0.67	0.76	1.14	2.59	9.04	24.25	11.48	0.96
	标准差	0.10	0.10	0.09	0.08	0.10	0.12	0.14	0.14	0.02
③	1	40.10	9.63	9.07	11.22	7.76	6.18	2.63	2.04	0.07
	2	39.75	9.83	8.89	11.05	7.96	5.98	2.80	2.17	0.07
	3	40.47	9.44	9.24	11.39	7.57	6.37	2.46	1.91	0.04
	平均值	40.11	9.63	9.07	11.22	7.76	6.18	2.63	2.04	0.06
	标准差	0.36	0.20	0.17	0.17	0.20	0.20	0.17	0.13	0.01

④	1	11.22	5.95	3.09	2.44	3.30	31.82	21.88	1.77	1.05
	2	11.33	5.78	3.22	2.31	3.43	32.01	21.69	1.89	1.07
	3	11.52	6.12	2.96	2.56	3.17	31.63	22.07	1.64	1.03
	平均值	11.36	5.95	3.09	2.44	3.30	31.82	21.88	1.77	1.05
	标准差	0.15	0.17	0.13	0.13	0.13	0.19	0.19	0.13	0.02
⑤	1	0.90	1.91	1.79	2.18	3.63	29.44	23.01	4.19	0.62
	2	1.03	1.77	1.93	2.05	3.80	29.24	23.20	4.02	0.64
	3	0.78	2.05	1.64	2.30	3.47	29.65	22.83	4.35	0.60
	平均值	0.90	1.91	1.79	2.18	3.63	29.44	23.01	4.19	0.62
	标准差	0.12	0.14	0.14	0.12	0.16	0.21	0.18	0.16	0.02

表3-3 水稳性团聚体团聚体总和X及各级水稳性团聚体占水稳性团聚体总和的百分含量
P_i (%)

样品	次数	X (%)	P _i (%)								
			>5	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	<0.05
①	1	71.01	0.17	0.36	1.82	14.27	58.26	20.54	0.33	3.08	1.18
	2	70.88	0.15	0.27	1.93	14.12	58.57	20.37	0.44	2.94	1.22
	3	71.10	0.12	0.47	1.69	14.43	57.98	20.73	0.21	3.22	1.15
	平均值	71.00	0.14	0.37	1.81	14.27	58.27	20.55	0.33	3.08	1.18
	标准差	0.11	0.02	0.10	0.12	0.16	0.29	0.18	0.12	0.14	0.03
②	1	55.44	8.23	1.21	1.36	2.06	4.66	16.31	43.74	20.71	1.73
	2	55.42	8.41	1.03	1.54	1.91	4.85	16.09	43.50	20.98	1.69
	3	55.48	8.04	1.39	1.21	2.20	4.48	16.51	43.96	20.44	1.76
	平均值	55.45	8.23	1.21	1.37	2.06	4.66	16.30	43.73	20.71	1.73
	标准差	0.03	0.19	0.18	0.17	0.15	0.19	0.21	0.23	0.27	0.04
③	1	88.71	45.21	10.86	10.22	12.65	8.75	6.96	2.97	2.30	0.07
	2	88.50	44.91	11.11	10.05	12.48	8.99	6.76	3.17	2.46	0.07
	3	88.90	45.52	10.62	10.40	12.82	8.51	7.17	2.76	2.15	0.05
	平均值	88.70	45.21	10.86	10.22	12.65	8.75	6.96	2.97	2.30	0.07
	标准差	0.20	0.30	0.24	0.17	0.17	0.24	0.21	0.20	0.15	0.01
④	1	82.52	13.60	7.21	3.74	2.95	4.00	38.56	26.52	2.14	1.27
	2	82.73	13.69	6.99	3.89	2.79	4.14	38.69	26.22	2.29	1.30
	3	82.70	13.93	7.40	3.58	3.10	3.84	38.25	26.68	1.98	1.25
	平均值	82.65	13.74	7.20	3.74	2.95	3.99	38.50	26.47	2.14	1.27
	标准差	0.11	0.17	0.20	0.15	0.15	0.15	0.23	0.23	0.15	0.03
⑤	1	67.66	1.33	2.82	2.64	3.22	5.37	43.51	34.01	6.19	0.91
	2	67.67	1.52	2.61	2.85	3.03	5.61	43.20	34.28	5.95	0.94
	3	67.67	1.15	3.03	2.43	3.40	5.13	43.81	33.74	6.43	0.88
	平均值	67.67	1.33	2.82	2.64	3.22	5.37	43.51	34.01	6.19	0.91
	标准差	0.01	0.18	0.21	0.21	0.18	0.24	0.30	0.27	0.24	0.03

3.1 方法精密度

为考察本方法的实验室内重复性，由其他 4 家单位对上述五种土壤，每种在重复性条件下独立进行 3 次平行测定。计算了湿筛后各级水稳性团聚体百分含量 (x_i) 以及水稳性团聚体总和 (X) 的标准差 (S) 与平均值。精密度数据汇总见下。

3.1.1 检测单位：浙江科技大学

验证实验选取五种具有代表性的土壤类型，涵盖我国主要土壤质地类型和微团聚体组成特征。样品信息如下：

黏壤土（东北黑土区）、砂土（陕西咸阳）、黏壤土（浙江绍兴水稻田）、砂质黏壤土（浙江杭州果园）、粉砂质壤土（甘肃黄土高原），依次记为样品①、②、③、④、⑤。

表 3-1-1-1 土壤水分、按比配成土壤扣除水分干基质量 m_0 (g) 及各级水稳性团聚体烘干质量 m_i (g)

样品	次数	水分%	m_0 (%)	m_i (g)								
				>5	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	<0.05
①	1	5.10	47.57	0.64	1.39	2.81	6.99	13.17	13.86	2.62	0.65	0.31
	2	5.04	47.60	0.69	1.33	2.89	7.12	13.02	14.01	2.51	0.71	0.30
	3	5.03	47.61	0.54	1.52	2.65	6.73	13.49	13.54	2.83	0.53	0.29
	平均值	5.06	47.59	0.62	1.41	2.78	6.95	13.23	13.80	2.65	0.63	0.30
	标准差	0.04	0.02	0.08	0.10	0.12	0.20	0.24	0.24	0.16	0.09	0.01
②	1	2.10	48.97	2.33	0.25	0.45	0.49	1.36	4.33	11.89	5.67	0.45
	2	2.17	48.94	2.33	0.25	0.45	0.49	1.36	4.33	11.89	5.67	0.45
	3	2.13	48.96	2.29	0.28	0.42	0.52	1.32	4.38	11.84	5.71	0.46
	平均值	2.13	48.96	2.32	0.26	0.44	0.50	1.35	4.35	11.87	5.68	0.45
	标准差	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01
③	1	8.65	46.02	15.75	4.55	4.20	3.99	4.91	4.64	0.93	0.77	0.35
	2	8.65	46.02	15.42	4.78	3.98	4.21	5.13	4.41	1.02	0.71	0.33
	3	8.59	46.04	16.08	4.32	4.42	3.77	4.69	4.87	0.84	0.83	0.37
	平均值	8.63	46.03	15.75	4.55	4.20	3.99	4.91	4.64	0.93	0.77	0.35
	标准差	0.03	0.01	0.33	0.23	0.22	0.22	0.22	0.23	0.09	0.06	0.02
④	1	5.30	47.48	7.31	1.80	1.52	1.30	6.53	14.20	6.40	2.30	0.22
	2	5.22	47.52	7.20	1.64	1.66	1.15	6.24	14.54	6.13	2.39	0.21
	3	5.26	47.50	7.47	2.05	1.29	1.52	6.98	13.68	6.81	2.16	0.23
	平均值	5.26	47.50	7.33	1.83	1.49	1.32	6.58	14.14	6.45	2.28	0.22
	标准差											

标准差	0.04	0.02	0.14	0.21	0.19	0.19	0.37	0.43	0.34	0.12	0.01
1	2.84	48.62	0.69	0.63	0.78	1.02	1.70	9.59	14.48	2.84	0.42
2	2.76	48.66	0.69	0.63	0.78	1.02	1.70	9.59	14.48	2.84	0.42
⑤ 3	2.79	48.64	0.78	0.55	0.86	0.93	1.82	9.87	14.12	2.71	0.44
平均值	2.80	48.64	0.72	0.60	0.81	0.99	1.74	9.68	14.36	2.80	0.43
标准差	0.04	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.16	0.21	0.08	0.01

表 3-1-1-2 各级水稳性团聚体的百分含量 x_i (%)

样品	次数	x_i (%)								
		>5	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	<0.05
①	1	1.35	2.92	5.91	14.69	27.68	29.13	5.51	1.37	0.65
	2	1.45	2.79	6.07	14.96	27.35	29.43	5.27	1.49	0.63
	3	1.13	3.19	5.57	14.14	28.34	28.44	5.94	1.11	0.61
	平均值	1.31	2.97	5.85	14.60	27.79	29.00	5.57	1.32	0.63
	标准差	0.16	0.20	0.26	0.42	0.50	0.51	0.34	0.19	0.02
	②	1	4.76	0.51	0.92	1.00	2.78	8.84	24.28	11.58
2		4.76	0.51	0.92	1.00	2.78	8.85	24.30	11.59	0.92
3		4.68	0.57	0.86	1.06	2.70	8.95	24.18	11.66	0.94
平均值		4.73	0.53	0.90	1.02	2.75	8.88	24.25	11.61	0.93
标准差		0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.05	0.01
③		1	34.22	9.89	9.13	8.67	10.67	10.08	2.02	1.67
	2	33.51	10.39	8.65	9.15	11.15	9.58	2.22	1.54	0.72
	3	34.92	9.38	9.60	8.19	10.19	10.58	1.82	1.80	0.80
	平均值	34.22	9.89	9.12	8.67	10.67	10.08	2.02	1.67	0.76
	标准差	0.71	0.50	0.48	0.48	0.48	0.50	0.20	0.13	0.04
	④	1	15.39	3.79	3.20	2.74	13.75	29.91	13.48	4.84
2		15.15	3.45	3.49	2.42	13.13	30.60	12.90	5.03	0.44
3		15.73	4.32	2.72	3.20	14.69	28.80	14.34	4.55	0.48
平均值		15.42	3.85	3.14	2.79	13.86	29.77	13.57	4.81	0.46
标准差		0.29	0.44	0.39	0.39	0.79	0.91	0.72	0.24	0.02
⑤		1	1.42	1.30	1.60	2.10	3.50	19.72	29.78	5.84
	2	1.42	1.29	1.60	2.10	3.49	19.71	29.76	5.84	0.86
	3	1.60	1.13	1.77	1.91	3.74	20.29	29.03	5.57	0.90
	平均值	1.48	1.24	1.66	2.04	3.58	19.91	29.52	5.75	0.88
	标准差	0.11	0.10	0.09	0.11	0.14	0.33	0.43	0.15	0.02

表 3-1-1-3 水稳性团聚体团聚体总和 X 及各级水稳性团聚体占水稳性团聚体总和的百分含量 P_i (%)

样品	次数	X (%)	P_i (%)
----	----	-------	-----------

\	\		>5	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	<0.05
①	1	89.21	1.51	3.28	6.62	16.47	31.03	32.66	6.17	1.53	0.73
	2	89.45	1.62	3.12	6.79	16.72	30.58	32.90	5.89	1.67	0.70
	3	88.48	1.28	3.61	6.29	15.98	32.03	32.15	6.72	1.26	0.69
	平均值	89.05	1.47	3.34	6.57	16.39	31.21	32.57	6.26	1.49	0.71
	标准差	0.51	0.17	0.25	0.25	0.38	0.74	0.39	0.42	0.21	0.02
②	1	55.58	8.56	0.92	1.65	1.80	5.00	15.91	43.68	20.83	1.65
	2	55.62	8.56	0.92	1.65	1.80	5.00	15.91	43.68	20.83	1.65
	3	55.60	8.41	1.03	1.54	1.91	4.85	16.09	43.50	20.98	1.69
	平均值	55.60	8.51	0.96	1.62	1.84	4.95	15.97	43.62	20.88	1.67
	标准差	0.02	0.08	0.06	0.06	0.06	0.08	0.11	0.11	0.08	0.02
③	1	87.12	39.29	11.35	10.48	9.95	12.25	11.57	2.32	1.92	0.87
	2	86.90	38.56	11.95	9.95	10.53	12.83	11.03	2.55	1.78	0.83
	3	87.28	40.01	10.75	11.00	9.38	11.67	12.12	2.09	2.07	0.92
	平均值	87.10	39.29	11.35	10.48	9.95	12.25	11.57	2.32	1.92	0.87
	标准差	0.19	0.73	0.60	0.52	0.57	0.58	0.54	0.23	0.14	0.05
④	1	87.57	17.58	4.33	3.66	3.13	15.70	34.15	15.39	5.53	0.53
	2	86.62	17.49	3.98	4.03	2.79	15.16	35.33	14.89	5.81	0.51
	3	88.82	17.71	4.86	3.06	3.60	16.54	32.42	16.14	5.12	0.55
	平均值	87.67	17.59	4.39	3.58	3.17	15.80	33.97	15.48	5.49	0.53
	标准差	1.10	0.11	0.44	0.49	0.41	0.70	1.46	0.63	0.35	0.02
⑤	1	66.13	2.15	1.96	2.43	3.17	5.29	29.83	45.04	8.83	1.31
	2	66.07	2.15	1.96	2.43	3.17	5.29	29.83	45.04	8.83	1.31
	3	65.95	2.43	1.71	2.68	2.90	5.67	30.77	44.01	8.45	1.37
	平均值	66.05	2.24	1.88	2.51	3.08	5.42	30.14	44.70	8.70	1.33
	标准差	0.09	0.16	0.14	0.15	0.16	0.22	0.54	0.59	0.22	0.04

3.1.2 检测单位：中国科学院南京土壤研究所

表 3-1-2-1 土壤水分、按比配成土壤扣除水分干基质量 m_0 (g) 及各级水稳性团聚体烘干质量 m_i (g)

样品	次数	水分%	m_0 (%)	m_i (g)								
				>5	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	<0.05
①	1	3.95	48.10	1.49	2.10	2.07	14.33	10.97	6.77	2.31	1.14	0.44
	2	3.88	48.13	1.52	2.06	2.09	14.56	11.14	6.55	2.22	1.10	0.40
	3	3.99	48.08	1.47	2.04	2.07	14.23	10.95	6.49	2.29	1.14	0.42
	平均值	3.94	48.11	1.49	2.07	2.08	14.37	11.02	6.60	2.27	1.13	0.42
	标准差	0.06	0.03	0.03	0.03	0.01	0.17	0.10	0.15	0.05	0.02	0.02

	1	7.00	46.73	1.01	0.41	0.47	4.66	6.93	15.01	7.92	0.46	0.63
	2	6.83	46.80	0.65	0.22	0.16	4.42	4.68	12.70	12.79	0.49	0.71
②	3	6.96	46.75	0.84	0.26	0.29	4.48	5.56	13.45	9.50	0.51	0.66
	平均值	6.93	46.76	0.83	0.30	0.31	4.52	5.72	13.72	10.07	0.49	0.67
	标准差	0.09	0.04	0.18	0.10	0.16	0.12	1.13	1.18	2.48	0.03	0.04
	1	2.16	48.94	12.40	7.83	6.53	6.08	6.61	3.23	2.56	0.60	0.33
	2	2.11	48.97	15.60	9.07	5.11	7.76	5.89	2.60	1.52	0.69	0.38
③	3	2.11	48.97	13.10	8.56	5.86	6.45	5.26	2.80	2.01	0.71	0.36
	平均值	2.13	48.96	13.70	8.49	5.83	6.76	5.92	2.88	2.03	0.67	0.36
	标准差	0.03	0.01	1.68	0.62	0.71	0.88	0.68	0.32	0.52	0.06	0.03
	1	1.81	49.11	8.49	2.55	1.05	2.96	6.17	7.66	9.71	1.81	0.36
	2	1.79	49.12	5.25	1.38	1.47	1.44	6.44	12.22	9.13	1.63	0.35
④	3	1.82	49.11	6.69	1.98	1.26	1.69	6.50	10.09	9.50	1.91	0.35
	平均值	1.81	49.11	6.81	1.97	1.26	2.03	6.37	9.99	9.45	1.78	0.35
	标准差	0.02	0.01	1.62	0.59	0.21	0.82	0.18	2.28	0.29	0.14	0.01
	1	1.19	49.41	0.23	0.39	0.37	2.76	12.35	12.76	7.36	2.00	0.20
	2	1.41	49.30	0.17	0.41	0.46	1.24	11.73	14.55	6.15	2.08	0.26
⑤	3	1.24	49.39	0.35	0.44	0.49	1.60	11.89	13.00	6.69	2.21	0.31
	平均值	1.28	49.37	0.25	0.41	0.44	1.87	11.99	13.44	6.73	2.10	0.26
	标准差	0.12	0.06	0.09	0.03	0.06	0.79	0.32	0.97	0.61	0.11	0.06

表 3-1-2-2 各级水稳性团聚体的百分含量 x_i (%)

样品	次数	x_i (%)								
		>5	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	<0.05
	1	3.10	4.37	4.30	29.79	22.81	14.07	4.80	2.37	0.91
	2	3.16	4.28	4.34	30.25	23.14	13.61	4.61	2.29	0.83
①	3	3.06	4.24	4.31	29.60	22.77	13.50	4.76	2.37	0.87
	平均值	3.10	4.30	4.32	29.88	22.91	13.73	4.73	2.34	0.87
	标准差	0.05	0.06	0.02	0.34	0.20	0.31	0.10	0.05	0.04
	1	2.16	0.88	1.01	9.97	14.83	32.12	16.95	0.98	1.35
	2	1.39	0.47	0.34	9.44	10.00	27.13	27.33	1.05	1.52
②	3	1.80	0.56	0.62	9.58	11.89	28.77	20.32	1.09	1.41
	平均值	1.78	0.63	0.66	9.67	12.24	29.34	21.53	1.04	1.43
	标准差	0.39	0.21	0.33	0.27	2.43	2.54	5.29	0.05	0.09
	1	25.33	16.00	13.34	12.42	13.51	6.60	5.23	1.23	0.67
	2	31.86	18.52	10.44	15.85	12.03	5.31	3.10	1.41	0.78
③	3	26.75	17.48	11.97	13.17	10.74	5.72	4.10	1.45	0.74
	平均值	27.98	17.33	11.91	13.81	12.09	5.88	4.15	1.36	0.73
	标准差	3.43	1.27	1.45	1.80	1.38	0.66	1.06	0.12	0.05
	1	17.29	5.19	2.14	6.03	12.56	15.60	19.77	3.69	0.73
④	2	10.69	2.81	2.99	2.93	13.11	24.88	18.59	3.32	0.71

	3	13.62	4.03	2.57	3.44	13.24	20.55	19.35	3.89	0.71
	平均值	13.87	4.01	2.57	4.13	12.97	20.34	19.23	3.63	0.72
	标准差	3.31	1.19	0.43	1.66	0.36	4.64	0.60	0.29	0.01
⑤	1	0.47	0.79	0.75	5.59	24.99	25.82	14.90	4.05	0.40
	2	0.34	0.83	0.93	2.52	23.79	29.51	12.47	4.22	0.53
	3	0.71	0.89	0.99	3.24	24.07	26.32	13.55	4.47	0.63
	平均值	0.51	0.84	0.89	3.78	24.29	27.22	13.64	4.25	0.52
	标准差	0.19	0.05	0.13	1.61	0.63	2.00	1.21	0.21	0.11

表3-1-2-3 水稳性团聚体团聚体总和X及各级水稳性团聚体占水稳性团聚体总和的百分含量 P_i (%)

样品	次数	X (%)	P_i (%)								
			7-5	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	<0.05
①	1	86.53	3.58	5.05	4.97	34.43	26.36	16.27	5.55	2.74	1.06
	2	86.51	3.65	4.95	5.02	34.97	26.75	15.73	5.33	2.64	0.96
	3	85.48	3.58	4.96	5.04	34.62	26.64	15.79	5.57	2.77	1.02
	平均值	86.17	3.60	4.99	5.01	34.67	26.58	15.93	5.48	2.72	1.01
	标准差	0.60	0.04	0.05	0.03	0.27	0.20	0.29	0.13	0.07	0.05
	②	1	80.25	2.69	1.09	1.25	12.43	18.48	40.03	21.12	1.23
2		78.67	1.77	0.60	0.43	12.00	12.71	34.49	34.74	1.33	1.93
3		76.05	2.36	0.73	0.82	12.60	15.64	37.83	26.72	1.43	1.86
平均值		78.32	2.27	0.81	0.83	12.34	15.61	37.45	27.53	1.33	1.82
标准差		2.12	0.47	0.26	0.41	0.31	2.88	2.79	6.84	0.10	0.13
③		1	94.33	26.86	16.96	14.14	13.17	14.32	7.00	5.54	1.30
	2	99.29	32.09	18.65	10.51	15.96	12.11	5.35	3.13	1.42	0.78
	3	92.12	29.04	18.98	12.99	14.30	11.66	6.21	4.46	1.57	0.80
	平均值	95.25	29.33	18.20	12.55	14.48	12.70	6.18	4.38	1.43	0.76
	标准差	3.67	2.63	1.08	1.86	1.40	1.42	0.82	1.21	0.14	0.04
	④	1	82.99	20.83	6.26	2.58	7.26	15.14	18.79	23.82	4.44
2		80.03	13.36	3.51	3.74	3.66	16.38	31.09	23.23	4.15	0.89
3		81.39	16.74	4.95	3.15	4.23	16.26	25.24	23.77	4.78	0.88
平均值		81.47	16.97	4.91	3.16	5.05	15.93	25.04	23.61	4.46	0.88
标准差		1.48	3.74	1.37	0.58	1.94	0.69	6.15	0.33	0.32	0.01
⑤		1	77.75	0.60	1.02	0.96	7.18	32.14	33.21	19.16	5.21
	2	75.15	0.46	1.11	1.24	3.35	31.66	39.27	16.60	5.61	0.70
	3	74.88	0.95	1.19	1.33	4.33	32.15	35.15	18.09	5.98	0.84
	平均值	75.93	0.67	1.10	1.18	4.95	31.99	35.88	17.95	5.60	0.69
	标准差	1.59	0.25	0.09	0.19	1.99	0.28	3.09	1.28	0.39	0.16

3.1.3 检测单位：中国农业科学院农业资源与农业区划研究所

表 3-1-3-1 土壤水分、按比配成土壤扣除水分干基质量 m_0 (g) 及各级水稳性团聚体烘干质量 m_i (g)

样品	次数	水分%	m_0 (%)	m_i (g)								
				>5	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	<0.05
①	1	4.89	47.67	2.62	3.32	2.07	10.16	17.09	9.50	1.24	0.91	0.40
	2	4.85	47.69	1.42	2.56	1.80	11.77	16.39	9.53	1.46	0.58	0.38
	3	4.73	47.74	1.56	2.99	1.89	10.09	16.82	9.47	1.35	0.60	0.36
	平均值	4.82	47.70	1.87	2.96	1.92	10.67	16.77	9.50	1.35	0.70	0.38
	标准差	0.08	0.04	0.66	0.38	0.14	0.95	0.35	0.03	0.11	0.19	0.02
②	1	1.85	49.09	1.24	0.51	0.50	3.29	6.84	11.44	14.62	3.23	0.70
	2	1.64	49.19	1.26	0.64	0.16	4.42	4.68	12.70	12.79	2.89	0.71
	3	1.89	49.07	0.99	0.71	0.32	4.57	5.27	11.88	12.97	3.30	0.64
	平均值	1.79	49.12	1.16	0.62	0.33	4.09	5.60	12.01	13.46	3.14	0.68
	标准差	0.13	0.06	0.15	0.10	0.17	0.70	1.12	0.64	1.01	0.22	0.04
③	1	2.34	48.86	25.38	5.23	3.15	5.00	3.13	2.16	2.93	0.98	0.50
	2	2.68	48.69	24.37	5.92	3.00	4.76	5.08	2.57	1.46	0.58	0.49
	3	2.50	48.78	25.54	5.45	3.10	4.65	4.20	2.23	2.24	0.67	0.51
	平均值	2.51	48.78	25.10	5.53	3.08	4.80	4.14	2.32	2.21	0.74	0.50
	标准差	0.17	0.08	0.64	0.35	0.08	0.18	0.98	0.22	0.74	0.21	0.01
④	1	5.27	47.50	7.01	0.78	0.96	3.77	6.35	10.35	9.39	1.56	0.29
	2	5.36	47.46	4.77	1.95	1.21	3.24	5.05	11.83	11.85	1.41	0.35
	3	5.39	47.44	6.13	1.23	0.90	3.48	5.63	10.65	10.20	1.43	0.30
	平均值	5.34	47.47	5.97	1.32	1.02	3.50	5.68	10.94	10.48	1.47	0.31
	标准差	0.06	0.03	1.13	0.59	0.17	0.27	0.65	0.78	1.25	0.08	0.03
⑤	1	1.92	49.06	0.60	0.42	1.50	1.29	9.37	15.88	6.58	3.07	0.44
	2	2.07	48.99	1.03	0.30	1.35	2.60	9.88	13.25	8.41	3.45	0.59
	3	2.15	48.95	0.52	0.29	1.27	1.63	9.25	13.99	7.20	2.21	0.39
	平均值	2.05	49.00	0.72	0.34	1.37	1.84	9.50	14.37	7.40	2.91	0.47
	标准差	0.12	0.06	0.27	0.07	0.12	0.68	0.33	1.36	0.93	0.64	0.10

表 3-1-3-2 各级水稳性团聚体的百分含量 x_i (%)

样品	次数	x_i (%)								
		>5	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	<0.05
①	1	5.50	6.96	4.34	21.31	35.85	19.93	2.60	1.91	0.84
	2	2.98	5.37	3.77	24.68	34.37	19.98	3.06	1.22	0.80
	3	3.27	6.26	3.96	21.14	35.23	19.84	2.83	1.26	0.75
	平均值	3.91	6.20	4.03	22.38	35.15	19.92	2.83	1.46	0.80
	标准差	1.38	0.80	0.29	2.00	0.74	0.07	0.23	0.39	0.04

	1	2.53	1.04	1.02	6.70	13.93	23.30	29.78	6.58	1.43
	2	2.56	1.30	0.33	8.98	9.51	25.82	26.00	5.87	1.44
②	3	2.02	1.45	0.65	9.31	10.74	24.21	26.43	6.72	1.30
	平均值	2.37	1.26	0.67	8.33	11.40	24.44	27.40	6.39	1.39
	标准差	0.30	0.21	0.35	1.42	2.28	1.27	2.07	0.45	0.08
	1	51.95	10.69	6.45	10.24	6.41	4.43	6.00	2.01	1.03
	2	50.04	12.16	6.16	9.78	10.43	5.28	3.00	1.19	1.01
③	3	52.36	11.17	6.36	9.53	8.61	4.57	4.59	1.37	1.05
	平均值	51.45	11.34	6.32	9.85	8.48	4.76	4.53	1.52	1.03
	标准差	1.24	0.75	0.15	0.36	2.01	0.46	1.50	0.43	0.02
	1	14.75	1.64	2.02	7.94	13.37	21.79	19.77	3.28	0.61
	2	10.06	4.10	2.55	6.82	10.64	24.93	24.97	2.97	0.74
④	3	12.92	2.59	1.90	7.34	11.87	22.45	21.50	3.01	0.63
	平均值	12.58	2.78	2.16	7.37	11.96	23.06	22.08	3.09	0.66
	标准差	2.37	1.24	0.35	0.56	1.37	1.65	2.65	0.17	0.07
	1	1.22	0.86	3.06	2.63	19.10	32.37	13.41	6.26	0.90
	2	2.09	0.61	2.76	5.31	20.17	27.05	17.17	7.04	1.20
⑤	3	1.06	0.59	2.59	3.33	18.90	28.58	14.71	4.52	0.80
	平均值	1.46	0.69	2.80	3.76	19.39	29.33	15.10	5.94	0.97
	标准差	0.56	0.15	0.24	1.39	0.68	2.74	1.91	1.29	0.21

表3-1-3-3 水稳性团聚体团聚体总和X及各级水稳性团聚体占水稳性团聚体总和的百分含量 P_i (%)

样品	次数	X (%)	P_i (%)								
			>5	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	<0.05
	1	99.25	5.54	7.02	4.38	21.48	36.12	20.08	2.62	1.92	0.85
	2	96.23	3.09	5.58	3.92	25.65	35.72	20.77	3.18	1.26	0.83
①	3	94.53	3.46	6.63	4.19	22.36	37.27	20.98	2.99	1.33	0.80
	平均值	96.67	4.03	6.41	4.16	23.16	36.37	20.61	2.93	1.51	0.82
	标准差	2.39	1.32	0.74	0.23	2.20	0.81	0.47	0.29	0.36	0.02
	1	86.30	2.93	1.20	1.18	7.77	16.14	27.00	34.50	7.62	1.65
	2	81.82	3.13	1.59	0.40	10.98	11.63	31.55	31.78	7.18	1.76
②	3	82.84	2.44	1.75	0.79	11.24	12.96	29.23	31.91	8.12	1.57
	平均值	83.65	2.83	1.51	0.79	10.00	13.58	29.26	32.73	7.64	1.66
	标准差	2.35	0.36	0.28	0.39	1.94	2.32	2.28	1.54	0.47	0.10
	1	99.20	52.36	10.78	6.51	10.32	6.46	4.46	6.05	2.02	1.04
	2	99.03	50.52	12.28	6.22	9.87	10.53	5.33	3.03	1.20	1.02
③	3	99.61	52.56	11.22	6.38	9.57	8.64	4.59	4.61	1.38	1.05
	平均值	99.28	51.82	11.42	6.37	9.92	8.55	4.79	4.56	1.53	1.04
	标准差	0.30	1.12	0.77	0.14	0.38	2.04	0.47	1.51	0.43	0.02

	1	85.18	17.32	1.93	2.37	9.32	15.70	25.58	23.21	3.86	0.72
	2	87.78	11.46	4.67	2.91	7.77	12.12	28.40	28.45	3.38	0.84
④	3	84.21	15.34	3.08	2.25	8.71	14.09	26.66	25.53	3.58	0.75
	平均值	85.72	14.71	3.23	2.51	8.60	13.97	26.88	25.73	3.61	0.77
	标准差	1.85	2.98	1.38	0.35	0.78	1.79	1.42	2.62	0.24	0.06
	1	79.80	1.53	1.07	3.83	3.30	23.93	40.56	16.81	7.84	1.12
	2	83.40	2.51	0.73	3.30	6.36	24.18	32.43	20.59	8.44	1.44
⑤	3	75.08	1.41	0.79	3.46	4.44	25.17	38.07	19.59	6.01	1.06
	平均值	79.43	1.82	0.86	3.53	4.70	24.43	37.02	18.99	7.43	1.21
	标准差	4.17	0.60	0.18	0.27	1.55	0.65	4.16	1.96	1.27	0.21

3.1.4 检测单位：广东省农业科学院农业资源与环境研究所

表 3-1-4-1 土壤水分、按比配成土壤扣除水分干基质量 m_0 (g) 及各级水稳性团聚体烘干质量 m_i (g)

样品	次数	水分%	m_0 (%)	m_i (g)								
				>5	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	<0.05
①	1	4.70	47.96	1.43	2.44	6.51	7.37	12.08	12.98	1.57	0.92	0.43
	2	4.85	47.69	2.33	1.59	2.78	8.71	10.94	12.57	2.77	0.70	0.23
	3	4.73	47.74	1.56	2.99	1.89	10.09	16.82	9.47	1.35	0.60	0.36
	平均值	4.76	47.80	1.77	2.34	3.73	8.72	13.28	11.67	1.90	0.74	0.34
	标准差	0.08	0.14	0.49	0.71	2.45	1.36	3.12	1.92	0.76	0.16	0.10
②	1	1.85	49.09	0.81	0.40	0.46	1.39	5.97	13.57	7.53	3.80	0.58
	2	1.64	49.19	0.72	0.63	0.67	1.20	3.64	13.80	13.24	3.89	0.55
	3	1.89	49.07	0.86	0.45	0.39	1.50	3.89	13.36	9.98	3.90	0.49
	平均值	1.79	49.12	0.80	0.49	0.51	1.36	4.50	13.58	10.25	3.86	0.54
	标准差	0.13	0.06	0.07	0.12	0.15	0.15	1.28	0.22	2.86	0.06	0.05
③	1	2.34	48.86	20.37	3.99	3.21	4.00	6.75	4.72	3.44	1.65	0.49
	2	2.48	48.79	20.07	6.17	3.86	4.14	3.34	4.93	4.53	1.19	0.54
	3	2.50	48.78	20.22	4.20	3.33	4.06	4.50	4.61	3.56	1.25	0.46
	平均值	2.44	48.81	20.22	4.79	3.47	4.07	4.86	4.75	3.84	1.36	0.50
	标准差	0.09	0.04	0.15	1.20	0.35	0.07	1.73	0.16	0.60	0.25	0.04
④	1	5.27	47.50	3.98	2.18	1.28	4.01	8.85	11.37	7.69	2.19	0.40
	2	5.36	47.46	5.20	1.36	1.27	3.70	7.42	8.70	6.19	1.73	0.56
	3	5.39	47.44	4.20	1.88	1.15	3.86	8.20	10.55	6.06	1.87	0.38
	平均值	5.34	47.47	4.46	1.81	1.23	3.86	8.16	10.21	6.65	1.93	0.45
	标准差	0.06	0.03	0.65	0.41	0.07	0.16	0.72	1.37	0.91	0.24	0.10
⑤	1	1.92	49.06	0.41	0.28	0.56	1.39	7.71	11.26	9.79	3.35	0.36
	2	2.07	48.99	0.15	0.19	0.44	2.76	4.32	21.81	5.73	0.82	0.44

3	2.15	48.95	0.50	0.22	0.43	1.89	5.60	16.56	6.64	3.20	0.38
平均值	2.05	49.00	0.35	0.23	0.48	2.01	5.88	16.54	7.39	2.46	0.39
标准差	0.12	0.06	0.18	0.05	0.07	0.69	1.71	5.28	2.13	1.42	0.04

表 3-1-4-2 各级水稳性团聚体的百分含量 x_i (%)

样品	次数	x_i (%)								
		>5	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	<0.05
①	1	2.98	5.09	13.57	15.37	25.19	27.06	3.27	1.92	0.90
	2	4.89	3.33	5.83	18.26	22.94	26.36	5.81	1.47	0.48
	3	3.27	6.26	3.96	21.14	35.23	19.84	2.83	1.26	0.75
	平均值	3.71	4.89	7.79	18.26	27.79	24.42	3.97	1.55	0.71
	标准差	1.03	1.47	5.10	2.88	6.54	3.98	1.61	0.34	0.21
	②	1	1.65	0.81	0.94	2.83	12.16	27.64	15.34	7.74
2	1.46	1.28	1.36	2.44	7.40	28.05	26.91	7.91	1.12	
3	1.75	0.92	0.79	3.06	7.93	27.23	20.34	7.95	1.00	
平均值	1.62	1.00	1.03	2.78	9.16	27.64	20.86	7.87	1.10	
标准差	0.15	0.24	0.30	0.31	2.61	0.41	5.81	0.11	0.09	
③	1	41.69	8.17	6.57	8.19	13.82	9.66	7.04	3.38	1.00
	2	41.14	12.65	7.91	8.49	6.85	10.10	9.28	2.44	1.11
	3	41.45	8.61	6.83	8.32	9.23	9.45	7.30	2.56	0.94
	平均值	41.43	9.81	7.10	8.33	9.96	9.74	7.87	2.79	1.02
	标准差	0.28	2.47	0.71	0.15	3.54	0.33	1.23	0.51	0.08
④	1	8.38	4.59	2.69	8.44	18.63	23.94	16.19	4.61	0.84
	2	10.96	2.87	2.68	7.80	15.64	18.33	13.04	3.65	1.18
	3	8.85	3.96	2.42	8.14	17.28	22.24	12.77	3.94	0.80
	平均值	9.40	3.81	2.60	8.13	17.18	21.50	14.00	4.07	0.94
	标准差	1.37	0.87	0.15	0.32	1.50	2.87	1.90	0.49	0.21
⑤	1	0.84	0.57	1.14	2.83	15.72	22.95	19.96	6.83	0.73
	2	0.31	0.39	0.90	5.63	8.82	44.52	11.70	1.67	0.90
	3	1.02	0.45	0.88	3.86	11.44	33.83	13.57	6.54	0.78
	平均值	0.72	0.47	0.97	4.11	11.99	33.77	15.07	5.01	0.80
	标准差	0.37	0.09	0.15	1.42	3.48	10.79	4.33	2.90	0.09

表3-1-4-3 水稳性团聚体团聚体总和X及各级水稳性团聚体占水稳性团聚体总和的百分含量 P_i (%)

样品	次数	X (%)	P_i (%)								
			>5	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	<0.05
①	1	95.35	3.13	5.34	14.24	16.12	26.42	28.38	3.43	2.01	0.94
	2	89.37	5.47	3.73	6.52	20.44	25.67	29.49	6.50	1.64	0.54
	3	94.53	3.46	6.63	4.19	22.36	37.27	20.98	2.99	1.33	0.80

	平均值	93.08	4.02	5.23	8.32	19.64	29.78	26.29	4.31	1.66	0.76
	标准差	3.24	1.27	1.45	5.26	3.20	6.49	4.63	1.91	0.34	0.20
	1	70.30	2.35	1.16	1.33	4.03	17.30	39.32	21.82	11.01	1.68
	2	77.94	1.88	1.64	1.75	3.13	9.49	35.99	34.53	10.15	1.43
②	3	70.96	2.47	1.29	1.12	4.31	11.17	38.37	28.66	11.20	1.41
	平均值	73.06	2.23	1.36	1.40	3.82	12.66	37.89	28.34	10.79	1.51
	标准差	4.23	0.31	0.25	0.32	0.62	4.11	1.71	6.36	0.56	0.15
	1	99.52	41.90	8.21	6.60	8.23	13.88	9.71	7.08	3.39	1.01
	2	99.96	41.15	12.65	7.91	8.49	6.85	10.11	9.29	2.44	1.11
③	3	94.69	43.78	9.09	7.21	8.79	9.74	9.98	7.71	2.71	1.00
	平均值	98.05	42.27	9.98	7.24	8.50	10.16	9.93	8.02	2.85	1.04
	标准差	2.92	1.35	2.35	0.66	0.28	3.54	0.20	1.14	0.49	0.06
	1	88.32	9.49	5.20	3.05	9.56	21.10	27.10	18.33	5.22	0.95
	2	76.13	14.39	3.76	3.52	10.24	20.54	24.08	17.13	4.79	1.55
④	3	80.41	11.01	4.93	3.01	10.12	21.49	27.65	15.88	4.90	1.00
	平均值	81.62	11.63	4.63	3.19	9.97	21.04	26.28	17.12	4.97	1.17
	标准差	6.18	2.51	0.76	0.28	0.36	0.48	1.92	1.22	0.22	0.33
	1	71.57	1.17	0.80	1.59	3.96	21.96	32.07	27.88	9.54	1.03
	2	74.84	0.41	0.52	1.20	7.53	11.78	59.49	15.63	2.24	1.20
⑤	3	72.36	1.41	0.62	1.21	5.34	15.81	46.75	18.75	9.03	1.07
	平均值	72.92	1.00	0.65	1.34	5.61	16.52	46.11	20.75	6.94	1.10
	标准差	1.71	0.52	0.14	0.22	1.80	5.12	13.72	6.37	4.08	0.09

3.2 准确性检验

为确保《土壤水稳性团聚体的测定》标准中所规定方法的科学性、准确性和适用性，编制组组织开展了方法验证实验。验证工作由浙江大学承担，主要考察了方法的精密度和正确度。

3.2.1 验证思路与范围说明

本标准在现有行业标准基础上，主要有两方面的技术改进：

a) 筛网孔径的细化

NY/T 1121.19-2008《土壤检测 第19部分：土壤水稳性大团聚体组成的测定》采用的干筛筛网孔径系列为10mm、7mm、5mm、3mm、2mm、1mm、0.5mm、0.25mm；湿筛孔径为5mm、3mm、2mm、1mm、0.5mm、0.25mm。本标准改变

了孔径，使其更加精细，将筛网孔径系列扩展为干筛 10mm、7mm、5mm、3mm、2mm、1mm、0.5mm、0.2mm、0.1mm、0.05mm；湿筛 5mm、3mm、2mm、1mm、0.5mm、0.2mm、0.1mm、0.05mm。这一改进使团聚体的粒径分级更加精细，能够更准确地反映土壤团聚体的分布特征。

b)微团聚体测定的方法补充

对于微团聚体，本标准的验证引入了吸管法，并配套提供了土壤颗粒分析吸管装置（图 3-2-4）和吸取时间表（表 3-2-4-4）。这一部分需要验证温度、吸液时间、操作技巧等因素对测定结果的影响，是相较于现有行业标准的主要技术增量和技术难点。

对于改变后的筛网孔径：这些粒级仍采用湿筛法测定，其方法原理和操作步骤与 NY/T 1121.19-2008 一致。湿筛法在各粒级间的原理和操作具有一致性——筛分过程的可靠性不随筛孔尺寸的变化而改变。因此，新增孔径的测定结果可以通过方法原理的一致性得到保证。

对于<0.05mm 微团聚体准确性的验证：引入了吸管法（参考 NY/T 1121.20-2008），其测定受温度、吸液时间、操作技巧等多种因素影响，需要通过实验数据进行验证。

因此，验证实验聚焦于<0.05mm 微团聚体的测定。验证的逻辑在于：如果最难测定的、含量最低的<0.05mm 粒级能够获得良好的精密度和正确度，那么基于相同湿筛原理、操作更简单、受干扰因素更少的>0.05mm 各粒级（包括新增的 0.2mm、0.1mm 孔径），其测定结果的可靠性自然可以保证。这一验证策略既抓住了方法的关键技术点，又避免了重复验证已有成熟技术，体现了验证工作的科学性、合理性和经济性。

3.2.2 验证目的

本次验证实验的主要目的包括：

- a)考察方法对<0.05mm 微团聚体测定的重复性（精密度）；
- b)验证土壤颗粒分析吸管装置及吸取时间表在微团聚体测定中的适用性；
- c)通过与 NY/T 1121.20-2008 规定方法的比对，验证本方法对<0.05mm 粒级测定的正确度；

3.2.3 验证依据

本次验证实验中，<0.05mm 微团聚体的测定依据以下技术文件：

a)NY/T 1121.20-2008《土壤检测 第 20 部分：土壤微团聚体组成的测定》——规定了吸管法测定微团聚体的原理、仪器设备和操作步骤；

b)本标准第 5.5 条“<0.05mm 粒径的水稳性团聚体含量验证”——明确了吸管法的具体操作流程；

c)图 3-2-4 “土壤颗粒分析吸管装置”——规定了吸管的结构和规格；

d)表 3-2-4-4 “土壤颗粒分析各级土粒吸取时间表”——提供了在特定温度、土粒密度和吸液深度条件下，吸取<0.05mm 粒级土粒所需的时间。

3.2.4 验证样品

本次验证实验选取五种具有代表性的土壤类型，涵盖我国主要土壤质地类型和微团聚体组成特征。样品信息如下：

黏壤土（东北黑土区）、砂土（陕西咸阳）、黏壤土（浙江绍兴水稻田）、砂质黏壤土（浙江杭州果园）、粉砂质壤土（甘肃黄土高原），依次记为样品①、②、③、④、⑤。

表 3-2-4-1 土壤水分、按比配成土壤扣除水分干基质量 m_0 (g) 及各级水稳性团聚体烘干质量 m_i (g)

样品	次数	水分%	m_0 (%)	m_i (g)								
				>5	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	<0.05
①	1	5.11	47.57	0.06	0.12	0.61	4.82	19.68	6.94	0.11	1.04	0.41
	2	5.10	47.57	0.05	0.09	0.65	4.76	19.75	6.87	0.15	0.99	0.41
	3	5.11	47.57	0.04	0.16	0.57	4.88	19.61	7.01	0.07	1.09	0.40
	平均值	5.11	47.57	0.05	0.12	0.61	4.82	19.68	6.94	0.11	1.04	0.41
	标准差	0.01	0.00	0.01	0.04	0.04	0.06	0.07	0.07	0.04	0.05	0.01
②	1	1.80	49.12	2.24	0.33	0.37	0.56	1.27	4.44	11.91	5.64	0.31
	2	1.80	49.12	2.29	0.28	0.42	0.52	1.32	4.38	11.84	5.71	0.30
	3	1.80	49.12	2.19	0.38	0.33	0.60	1.22	4.50	11.98	5.57	0.31
	平均值	1.80	49.12	2.24	0.33	0.37	0.56	1.27	4.44	11.91	5.64	0.31
	标准差	0.00	0.00	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07	0.01
③	1	8.74	45.98	18.44	4.43	4.17	5.16	3.57	2.84	1.21	0.94	0.40
	2	8.72	45.99	18.28	4.52	4.09	5.08	3.66	2.75	1.29	1.00	0.40

	3	8.73	45.99	18.61	4.34	4.25	5.24	3.48	2.93	1.13	0.88	0.40
	平均值	8.73	45.99	18.44	4.43	4.17	5.16	3.57	2.84	1.21	0.94	0.40
	标准差	0.01	0.00	0.17	0.09	0.08	0.08	0.09	0.09	0.08	0.06	0.00
	1	5.09	47.58	5.34	2.83	1.47	1.16	1.57	15.14	10.41	0.84	0.40
	2	5.09	47.58	5.39	2.75	1.53	1.10	1.63	15.23	10.32	0.90	0.40
④	3	5.08	47.58	5.48	2.91	1.41	1.22	1.51	15.05	10.50	0.78	0.41
	平均值	5.09	47.58	5.40	2.83	1.47	1.16	1.57	15.14	10.41	0.84	0.40
	标准差	0.01	0.00	0.07	0.08	0.06	0.06	0.06	0.09	0.09	0.06	0.01
	1	2.64	48.71	0.44	0.93	0.87	1.06	1.77	14.34	11.21	2.04	0.49
	2	2.66	48.70	0.50	0.86	0.94	1.00	1.85	14.24	11.30	1.96	0.48
⑤	3	2.66	48.70	0.38	1.00	0.80	1.12	1.69	14.44	11.12	2.12	0.49
	平均值	2.65	48.71	0.44	0.93	0.87	1.06	1.77	14.34	11.21	2.04	0.49
	标准差	0.01	0.01	0.06	0.07	0.07	0.06	0.08	0.10	0.09	0.08	0.01

表 3-2-4-2 各级水稳性团聚体的百分含量 x_i (%)

样品	次数	x_i (%)								
		>5	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	<0.05
	1	0.12	0.25	1.29	10.13	41.37	14.59	0.23	2.19	0.86
	2	0.11	0.19	1.37	10.01	41.51	14.44	0.32	2.08	0.86
①	3	0.08	0.34	1.20	10.26	41.22	14.74	0.15	2.29	0.84
	平均值	0.10	0.26	1.29	10.13	41.37	14.59	0.23	2.19	0.85
	标准差	0.02	0.07	0.08	0.13	0.15	0.15	0.08	0.11	0.01
	1	4.56	0.67	0.75	1.14	2.59	9.04	24.25	11.48	0.63
	2	4.66	0.57	0.86	1.06	2.69	8.92	24.11	11.63	0.61
②	3	4.46	0.77	0.67	1.22	2.48	9.16	24.39	11.34	0.63
	平均值	4.56	0.67	0.76	1.14	2.59	9.04	24.25	11.48	0.62
	标准差	0.10	0.10	0.09	0.08	0.10	0.12	0.14	0.14	0.01
	1	40.10	9.63	9.07	11.22	7.76	6.18	2.63	2.04	0.87
	2	39.75	9.83	8.89	11.05	7.96	5.98	2.80	2.17	0.87
③	3	40.47	9.44	9.24	11.39	7.57	6.37	2.46	1.91	0.87
	平均值	40.11	9.63	9.07	11.22	7.76	6.18	2.63	2.04	0.87
	标准差	0.36	0.20	0.17	0.17	0.20	0.20	0.17	0.13	0.00
	1	11.22	5.95	3.09	2.44	3.30	31.82	21.88	1.77	0.84
	2	11.33	5.78	3.22	2.31	3.43	32.01	21.69	1.89	0.84
④	3	11.52	6.12	2.96	2.56	3.17	31.63	22.07	1.64	0.86
	平均值	11.36	5.95	3.09	2.44	3.30	31.82	21.88	1.77	0.85
	标准差	0.15	0.17	0.13	0.13	0.13	0.19	0.19	0.13	0.01
	1	0.90	1.91	1.79	2.18	3.63	29.44	23.01	4.19	1.01
	2	1.03	1.77	1.93	2.05	3.80	29.24	23.20	4.02	0.99
⑤	3	0.78	2.05	1.64	2.30	3.47	29.65	22.83	4.35	1.01
	平均值	0.90	1.91	1.79	2.18	3.63	29.44	23.01	4.19	1.00

标准差 0.12 0.14 0.14 0.12 0.16 0.21 0.18 0.16 0.01

表3-2-4-3 水稳性团聚体团聚体总和X及各级水稳性团聚体占水稳性团聚体总和的百分含量 P_i (%)

样品	次数	X (%)	P_i (%)								
			>5	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	<0.05
①	1	71.03	0.17	0.36	1.82	14.26	58.24	20.54	0.33	3.08	1.21
	2	70.88	0.15	0.27	1.93	14.12	58.57	20.37	0.44	2.94	1.22
	3	71.12	0.12	0.47	1.68	14.43	57.97	20.72	0.21	3.22	1.18
	平均值	71.01	0.14	0.36	1.81	14.27	58.26	20.54	0.33	3.08	1.20
	标准差	0.12	0.02	0.10	0.12	0.15	0.30	0.17	0.12	0.14	0.02
	②	1	55.11	8.27	1.22	1.37	2.07	4.69	16.40	44.00	20.83
2	55.09	8.46	1.03	1.55	1.92	4.88	16.19	43.75	21.10	1.11	
3	55.13	8.09	1.40	1.22	2.22	4.51	16.62	44.24	20.57	1.14	
平均值	55.11	8.27	1.22	1.38	2.07	4.69	16.40	44.00	20.83	1.13	
标准差	0.02	0.19	0.18	0.17	0.15	0.19	0.22	0.24	0.27	0.02	
③	1	89.51	44.80	10.76	10.13	12.54	8.67	6.90	2.94	2.28	0.97
2	89.30	44.51	11.01	9.96	12.37	8.91	6.70	3.14	2.43	0.97	
3	89.72	45.10	10.52	10.30	12.70	8.43	7.10	2.74	2.13	0.97	
平均值	89.51	44.80	10.76	10.13	12.54	8.67	6.90	2.94	2.28	0.97	
标准差	0.21	0.30	0.24	0.17	0.17	0.24	0.20	0.20	0.15	0.00	
④	1	82.31	13.64	7.23	3.75	2.96	4.01	38.66	26.58	2.15	1.02
2	82.50	13.73	7.01	3.90	2.80	4.15	38.80	26.29	2.29	1.02	
3	82.53	13.95	7.41	3.59	3.11	3.85	38.32	26.74	1.99	1.04	
平均值	82.44	13.77	7.21	3.75	2.96	4.00	38.60	26.54	2.14	1.03	
标准差	0.12	0.16	0.20	0.15	0.15	0.15	0.25	0.23	0.15	0.01	
⑤	1	68.05	1.33	2.81	2.62	3.20	5.34	43.26	33.82	6.15	1.48
2	68.02	1.51	2.60	2.84	3.02	5.58	42.98	34.11	5.92	1.45	
3	68.08	1.15	3.02	2.41	3.38	5.10	43.55	33.53	6.39	1.48	
平均值	68.05	1.33	2.81	2.62	3.20	5.34	43.26	33.82	6.15	1.47	
标准差	0.03	0.18	0.21	0.21	0.18	0.24	0.28	0.29	0.24	0.02	

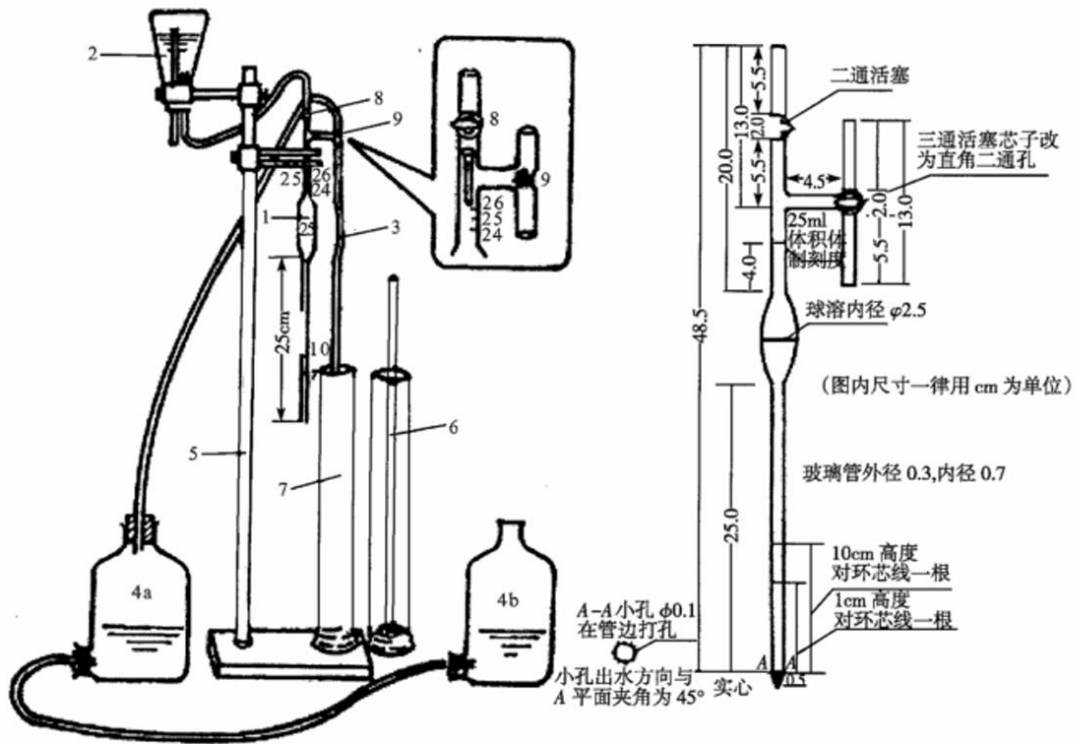


图 3-2-4 土壤颗粒分析吸管装置

标引序号说明：

- 1——颗粒分析吸管
- 2——盛水 250 mL 锥形瓶
- 3——通气橡胶管
- 4——抽气装置（包括 2 个 1 L 下口瓶 4a 和 4b）
- 5——支架
- 6——搅拌棒
- 7——沉降筒
- 8——活塞
- 9——三通活塞

表 3-2-4-4 土壤颗粒分析各级土粒吸取时间表 (<0.05 mm)

土粒直径 (mm)		<0.05	
温度°C	土粒密度g/cm ³	吸液深度25 cm	吸液深度10 cm
4	2.45	3'18"	1'20"
	2.55	3'05"	1'15"
	2.65	2'54"	1'10"
	2.75	2'44"	1'06"

5	2.45	3'13"	1'17"
	2.55	3'01"	1'12"
	2.65	2'50"	1'08"
	2.75	2'40"	1'04"
6	2.45	3'07"	1'15"
	2.55	2'55"	1'10"
	2.65	2'44"	1'06"
	2.75	2'35"	1'02"
7	2.45	3'01"	1'13"
	2.55	2'49"	1'08"
	2.65	2'39"	1'04"
	2.75	2'30"	1'00"
8	2.45	2'55"	1'11"
	2.55	2'44"	1'06"
	2.65	2'34"	1'02"
	2.75	2'25"	58"
9	2.45	2'51"	1'08"
	2.55	2'40"	1'04"
	2.65	2'30"	1'00"
	2.75	2'21"	57"
10	2.45	2'45"	1'06"
	2.55	2'34"	1'02"
	2.65	2'25"	58"
	2.75	2'17"	55"
11	2.45	2'40"	1'05"
	2.55	2'30"	1'01"
	2.65	2'21"	57"
	2.75	2'13"	54"
12	2.45	2'36"	1'03"
	2.55	2'26"	59"
	2.65	2'17"	55"
	2.75	2'09"	52"
13	2.45	2'32"	1'01"
	2.55	2'23"	57"
	2.65	2'14"	54"
	2.75	2'06"	51"
14	2.45	2'28"	59"
	2.55	2'18"	55"
	2.65	2'10"	52"
	2.75	2'03"	49"
15	2.45	2'25"	58"
	2.55	2'15"	54"
	2.65	2'07"	51"

	2.75	2'00"	48"
16	2.45	2'21"	56"
	2.55	2'12"	52"
	2.65	2'04"	49"
	2.75	1'57"	46"
17	2.45	2'17"	55"
	2.55	2'08"	51"
	2.65	2'0"	48"
	2.75	1'53"	45"
18	2.45	2'13"	53"
	2.55	2'05"	50"
	2.65	1'57"	47"
	2.75	1'50"	44"
19	2.45	2'11"	52"
	2.55	2'02"	49"
	2.65	1'55"	46"
	2.75	1'48"	43"
20	2.45	2'07"	51"
	2.55	1'59"	48"
	2.65	1'52"	45"
	2.75	1'46"	42"
21	2.45	2'04"	50"
	2.55	1'56"	47"
	2.65	1'49"	44"
	2.75	1'43"	41"
22	2.45	2'02"	49"
	2.55	1'54"	46"
	2.65	1'47"	43"
	2.75	1'41"	41"
23	2.45	1'58"	48"
	2.55	1'51"	45"
	2.65	1'44"	42"
	2.75	1'38"	40"
24	2.45	1'56"	47"
	2.55	1'49"	44"
	2.65	1'42"	41"
	2.75	1'36"	39"
25	2.45	1'53"	46"
	2.55	1'45"	43"
	2.65	1'39"	40"
	2.75	1'33"	38"
26	2.45	1'50"	44"
	2.55	1'43"	42"

	2.65	1'37"	39"
	2.75	1'31"	37"
27	2.45	1'48"	43"
	2.55	1'41"	40"
	2.65	1'35"	38"
	2.75	1'30"	36"
28	2.45	1'46"	42"
	2.55	1'39"	39"
	2.65	1'33"	37"
	2.75	1'28"	35"
29	2.45	1'44"	41"
	2.55	1'37"	38"
	2.65	1'31"	36"
	2.75	1'26"	34"
30	2.45	1'41"	41"
	2.55	1'35"	38"
	2.65	1'29"	36"
	2.75	1'24"	34"

3.2.5 数据处理

测定结果为水稳性团聚体团聚体总和 X 及各级水稳性团聚体占水稳性团聚体总和的百分含量 P_i (%)，百分比，并保留 2 位有效数字。

3.2.6 误差分析

土壤水稳性团聚体测定过程中，误差主要来源于样品采集与制备、筛分过程、称量操作以及吸管法操作等环节。其中，水稳性团聚体总和 X 的测定误差与土壤本身的性质密切相关。 X 作为各级团聚体含量之和，其测定误差受土壤质地、有机质含量、团聚体粒径分布、碳酸盐含量、铁铝氧化物含量等因素的综合影响。土壤质地是影响 X 测定误差的基础因素。砂质土壤颗粒组成以砂粒为主，团聚体含量较低且稳定性较差，在湿筛过程中容易破碎，导致 X 的测定值波动较大，相对误差较高；黏质土壤颗粒组成以黏粒为主，团聚体含量较高且稳定性较好， X 的测定值相对稳定，误差较小；壤质土壤则介于两者之间。有机质作为土壤团聚体的重要胶结物质，其含量直接影响团聚体的水稳性。 X 值作为评价土壤结构稳定性的重要指标，其高低直接反映了土壤团聚体抵抗水力破坏的能力。一般来说， X 值越高，表明土壤中能经受湿筛作用而不崩解的团聚体越多，土壤结构越

稳定；反之，X 值偏低则说明土壤团聚体水稳性较差，在遇水后易于分散。部分样品的 X 值出现偏低现象（如低于 70%），这可能与土壤本身的质地属性有关。例如，砂质土壤因缺乏足够的胶结物质，其水稳性团聚体含量的本底值通常较低，在湿筛过程中容易发生崩解，导致最终测得的 X 值偏低。另一方面，若出现部分样品的 X 值略高于 100%，这属于实验过程中可能出现的正常误差范围。导致这一现象的原因可能包括称量过程中的微小偏差、烘干后样品未完全冷却至恒重、或铝盒质量波动等系统性误差。尽管如此，这些样品的 X 值仍能较好地反映其团聚体组成的基本特征，在后续计算各级团聚体占水稳性团聚体总和的百分含量（ P_i ）时，通过归一化处理可有效消除此类误差，使结果更具可比性。

土壤水稳性团聚体测定过程中，水稳性团聚体总和 X 的测定误差受多种因素影响。根据多家验证单位的协同测定数据，X 的标准差总体范围为 0.02~6.18，反映了不同实验室条件下方法精密度的波动范围。从土壤类型来看，误差特征与团聚体粒径组成密切相关。以微团聚体和小粒级为主的砂土（陕西咸阳）和粉砂质壤土（甘肃黄土高原），在验证中表现出较好的重复性（X 标准差可低至 0.02~0.03），这是因为此类土壤在湿筛过程中团聚体结构相对稳定，几乎不发生进一步破碎。而以大团聚体为主的黏壤土（浙江绍兴水稻田）和砂质黏壤土（浙江杭州果园），由于 >5mm 粒级含量较高，大团聚体在湿筛过程中容易因水流冲击而发生随机性破碎，导致测定结果波动相对较大，部分验证中 X 标准差可达 3.67~6.18。黏壤土（东北黑土区）的误差则处于中等水平。

验证结果同时表明，操作人员、设备条件、环境因素等对测定结果具有一定影响，不同实验室间的 X 标准差存在一定差异。这提示在实际应用中应加强操作规范化培训，严格控制筛分时间、提沉次数、水流速度等关键参数，特别是对于大团聚体含量高的土壤，更应注意操作的一致性，以减小实验室间差异。

总体而言，本方法对各类土壤水稳性团聚体的测定具有良好的适用性。X 值作为评价土壤结构稳定性的重要指标，其高低直接反映了土壤团聚体抵抗水力破坏的能力。建议在标准发布后加强宣贯培训，推动操作的规范化，进一步提高方法的一致性和可比性。此外，为减小测定误差，应严格按照本标准要求规范样品采集与制备，严格控制筛分时间、提沉次数等操作参数，并用吸管法加以验证筛网法，每个样品至少进行 3 次平行测定取平均值。

3.2.7 预期的经济效益、社会效益和生态效益

a) 经济效益

本标准的实施将为土壤检测机构带来直接的经济效益。本标准在现有行业标准基础上优化了操作流程，明确了关键控制点，可减少重复测定和错误操作，降低样品损耗和试剂消耗，可有效降低人力成本和时间成本。本标准所需仪器设备主要为土壤筛组、沉降筒、吸管装置、电热恒温干燥箱、分析天平等，均为土壤物理性质测定的常规设备，实验室无需额外投入大量资金购置专用仪器，便于各级检测机构快速推广应用。本标准细化的粒径分级和规范的微团聚体验证方法，可满足农业、环境、水利、国土等不同领域对土壤结构评价的需求，拓展实验室的服务范围和业务空间，增加检测机构的服务收入。

本标准的实施还将带来广泛的间接经济效益。土壤水稳性团聚体组成是评价土壤结构质量的重要指标，与土壤肥力、水分保持、根系发育等密切相关，本标准提供的精细分级数据可为土壤改良、耕作制度优化、水肥管理、保护性耕作效果评价等提供科学依据，支撑精准农业发展，提高农业生产效益，通过优化土壤结构管理，可提高作物产量并减少水土流失带来的经济损失。当前正在开展的第三次全国土壤普查对土壤物理性质测定提出了更高要求，本标准基于原有的三普工作所使用的行业标准进行改进，其实施可为土壤普查提供规范、可靠的检测方法，保障普查工作的质量和效率，为国家土壤资源调查和耕地质量评价提供技术支撑。本标准统一了土壤水稳性团聚体的测定方法，解决了目前各地方法不统一、数据可比性差的问题，可避免不同地区、不同机构的重复性方法研究，节省科研资源，促进数据共享和成果转化。

b) 社会效益

本标准的实施将完善土壤质量评价体系，填补国家标准空白。目前国内尚无土壤水稳性团聚体测定的国家标准，仅有行业标准 NY/T 1121.19-2008 和 NY/T 1121.20-2008，本标准的制定将填补这一空白，完善土壤质量评价的国家标准体系。土壤水稳性团聚体是评价土壤结构质量的核心指标，对土壤肥力、水分保持、抗蚀性等具有重要影响，本标准将解决目前各地土壤团聚体测定方法不统一、数据可比性差的问题，促进全国土壤质量数据的互联互通和共享共用，为土壤资源管理和保护决策提供可靠的数据支撑。本标准还可为土壤侵蚀防治、退化土壤修

复、耕地质量保护、高标准农田建设等提供科学依据，支撑国家和地方土壤保护政策的制定和实施。

本标准的实施将促进土壤科学研究和人才培养。本标准细化粒径级别可更精细地揭示土壤团聚体的分布特征，为土壤结构形成机理、土壤有机碳固定机制、土壤侵蚀机理、土壤生物多样性等基础研究提供更详实的数据支撑，推动土壤学科的发展。本标准可为高等院校农业资源与环境、土壤学、环境科学、生态学等专业的实验教学提供规范的操作指南，提升人才培养质量，使学生通过本方法的学习和实践掌握土壤物理性质测定的核心技能。作为国家标准，本标准将成为土壤团聚体测定领域的技术共识，促进科研机构、高校、检测机构之间的技术交流与合作，推动土壤检测技术的共同进步。

本标准的实施还将服务国家重大战略需求。耕地质量保护是国家粮食安全的基础，本标准可为耕地质量调查、监测和评价提供技术支撑，服务于“藏粮于地”战略，为国家粮食安全保驾护航。土壤结构质量是生态系统健康的重要指标，本标准可为生态修复、水土保持、荒漠化防治、退耕还林还草等生态工程的效果评价提供技术支撑，服务生态文明建设。土壤质量提升是乡村振兴的基础，本标准可为高标准农田建设、耕地质量提升、农业面源污染治理等提供技术支撑，助力乡村振兴战略实施。土壤团聚体对有机碳具有物理保护作用，是土壤碳固定的重要机制，本标准可为农业减排增汇技术如秸秆还田、有机肥施用、保护性耕作等的效果评价提供科学依据，服务国家“碳达峰、碳中和”战略。

c) 生态效益

本标准的实施将有力支撑土壤侵蚀防治工作。土壤水稳性团聚体含量与土壤抗蚀性密切相关，是评价土壤侵蚀风险的关键指标，通过规范的水稳性团聚体测定，可为土壤侵蚀风险评估提供关键参数，支撑全国土壤侵蚀调查和水土保持规划的制定。水稳性团聚体含量越高的土壤抗蚀性越强，本标准可应用于水土保持措施如保护性耕作、植被恢复、梯田建设等实施前后土壤结构改善效果的定量评价，为水土保持技术优化和措施筛选提供科学依据，有效减少土壤侵蚀和水土流失。本标准可应用于退化生态系统如矿区复垦、退化草地恢复、沙化土地治理等修复过程中土壤结构改善效果的定量评价，为生态修复技术优化和修复成效评估提供依据；还可为土地质量评价、土地利用规划、国土空间优化等提供土壤结构

数据，促进土地资源的可持续利用和管理，维护生态系统的稳定与健康。

4 采用国际标准和国内外先进标准的情况

国内目前尚无与《土壤水稳性团聚体的测定》相关的国家标准，仅有行业标准。近二十年来，国内学者采用多种方法测定土壤水稳性团聚体，对此进行了大量研究并发表了相关论文，但是并没有形成统一的相关标准，不同的实验室方法在分析土壤团聚体的水稳性过程中各有差异。

自 20 世纪 50 年代以来，随着土壤科学的发展和研究方法的不断改进，对土壤团聚体结构和稳定性的研究逐渐增多并深化。特别是在 20 世纪 70 年代以后，关于土壤团聚体稳定性的实验方法和理论研究逐渐成熟，相关文献和研究论文也开始逐渐增多，主要以美国、法国、荷兰等国家为主。ISO 国际标准化组织也已经建立了土壤水稳性团聚体的测定方法。其国际标准 ISO 10930-2012.3138 采用了快速、慢速湿润及酒精浸润方法测定土壤水稳性团聚体。

国内仅建立了完善的土壤检测相关行业标准体系，如行业标准 NY/T 1121.20-2008《土壤检测 第 20 部分：土壤微团聚体组成的测定》；NY/T 1121.19-2008《土壤检测 第 19 部分：土壤水稳性大团聚体组成的测定》等。本标准引用和参考了国内土壤检测系列行业标准中涉及土壤团聚体水稳性测定的上述相关标准。

5 以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准

本标准不涉及国际标准。

首先，国际标准的技术方法体系与国内现有基础存在差异。ISO 10930-2012.3138 侧重于通过不同的湿润速率（快速/慢速）和液体表面张力（水/酒精）来区分团聚体破坏的不同机制（如消散作用、物理化学作用等）。而我国目前在该领域的监测实践和行业标准体系（如 NY/T 1121.19-2008）中，通常采用特定的振荡筛分或水稳性测定装置。本标准的制定旨在优先整合并升级国内现有的、已广泛应用的行业标准，结合第三次土壤普查所使用的方法，确保技术

路径的延续性和数据的可比性，而非直接引入不同的测定原理。

尽管目前尚无针对“土壤水稳性团聚体”的国家标准，但我国已建立了较为完善的土壤检测行业标准体系。其中，NY/T 1121.19-2008《土壤检测 第19部分：土壤水稳性大团聚体组成的测定》和 NY/T 1121.20-2008《土壤检测 第20部分：土壤微团聚体组成的测定》在国内土壤调查、农业监测及科研项目中得到了长期且广泛的应用。本标准在术语定义、样品前处理、筛分流程及结果计算等方面，充分继承并引用了上述行业标准的部分技术内容。这种“升级”路径有利于保持国内数据的连贯性，降低标准转换成本。

此外，我国土壤类型及其团聚体形成机理和水稳性特征与欧洲土壤存在差异。NY/T 1121 系列标准在制定过程中已充分考虑了我国农业土壤的特点。直接采用 ISO 标准可能需要对仪器设备和操作步骤进行大幅调整，且其测定结果与国内长期积累的数据之间缺乏明确的转换关系，不利于指导国内的耕地质量评价和水土保持实践。

6 与现行法律、法规、标准的协调性

本标准的制定符合《中华人民共和国标准化法》和《国家标准管理办法》。标准的格式和表达方式等方面完全执行了现行的国家标准和有关法规，符合 GB/T 1.1 的有关规定。与现行的法律、法规无冲突。

本方法采用 NY/T 1121.1 对土壤样品进行采集、处理和贮存。

技术方案部分参考行业标准 NY/T 1121.19-2008《土壤检测 第19部分：土壤水稳性大团聚体组成的测定》。

7 重大分歧意见的处理经过和依据

无

8 涉及专利的有关说明

本标准不涉及任何专利问题。

9 实施国家标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等 措施建议

为保障《土壤水稳性团聚体的测定》标准得到有效贯彻与实施，使其为土壤结构评价、耕地质量提升及生态修复研究提供可靠的方法依据，特提出以下建议。标准实施前，应确保标准文本（含电子版）的充足供应与便捷获取，使各相关科研院所、高校、农业及环保技术单位能及时获得。建议标准实施后，由主要起草单位联合其他相关机构，针对标准的关键使用对象，有重点地组织开展标准宣贯与技术培训，并建立常态化的技术咨询渠道，以解答在实际应用中出现的问题，确保标准被正确理解和统一执行。建议标准的正式实施过渡期设为 6 个月。

10 其他说明事项

本标准内容符合《公平竞争审查条例》《公平竞争审查条例实施办法》相关要求，不存在违反公平竞争情况。