

摘要

东北黑土区是我国重要的粮食生产基地，黑土区的粮食生产关系对国家经济稳定和粮食安全至关重要。然而，随着粮食需求的增加，农用化肥使用量逐年增加，过量施肥问题日益严峻。这导致黑土地地区出现了耕层土壤退化、生态污染、粮食品质下降、水土流失等情况。这些问题的严重后果威胁着黑土地的可持续利用和农业生产的健康发展。精准管理分区是保护耕地资源的关键，因此研究高效的精准管理分区方法显得尤为重要。虽然基于格网采样与空间插值的精准管理分区方法具有较高的精度，但是其成本非常高，而且时效性不佳，这一点尤为明显。如何利用遥感多尺度技术的优势，快速、准确地进行精准管理分区，成为新的研究热点。

本文选取了位于吉林省长春市中国科学院“黑土良仓”长春示范区陈家店研究区，获取陈家店研究区 2022 年裸土时期、生长时期无人机高分辨率影像以及 2019—2022 年玉米生长期 Sentinel-2A 遥感影像为数据源，利用面向对象分割的方法基于遥感影像的精准管理分区方法，同时结合归一化植被指数（Normalized Difference Vegetation Index, NDVI）、产量和叶面积指数（Leaf Area Index, LAI）、土壤格网采样评价分区结果的可行性；获取陈家店研究区通过建立玉米 LAI、产量与 NDVI 的线性关系，证明利用 NDVI 分区的可行性，利用 2019 至 2022 年的遥感影像数据提取 NDVI 数据，对田块内不同年份作物的长势进行精准管理分区。同时，利用空间转移矩阵方法研究了区域分区格局的变化情况，并探究了影响精准管理分区时空格局变化的成因。主要研究结论如下：

（1）典型的黑土区域面积较大，地形漫川漫岗，在相同的田块内，土壤养分及作物生长状况存在明显的差异，为精准农业的发展提供了良好的条件。

（2）基于无人机高分辨率裸土期影像以及作物生长期 0617NDVI、0704NDVI、0802NDVI、0901NDVI 四期影像与面向对象的分区方法结合，增强了归一化植被指数和土壤养分分区之间的差异性，分区内部的一致性。

（3）根据陈家店研究区自 2019 年至 2022 年生长季作物 NDVI 分区结果显示，由于地形、坡度和坡向等因素的影响，分区结果呈现出不同的变化趋势，分区格局相似。在分区后，NDVI、坡度和高程的变异系数分别下降了 60%~89%、5.625%~7.248% 以及 83.721%~86.047%。

（4）东北黑土区地形复杂，坡位的变化会对土壤养分和温湿度产生重要影响；地形因素对作物生长有重要影响，因其改变土壤水肥运移而间接影响精准管理分区；本文采用多尺度遥感影像和无人机影像通过面向对象分割方法，具有优势如成本低时效好、高准确性等；研究地形因素对精准管理区划影响，可为该领

域研究提供指导和借鉴，并推动东北黑土区精准农业发展，重要意义在于保护耕地质量和促进可持续发展。

关键词：精准管理分区，面向对象，无人机，多尺度，NDVI

目 录

摘 要	I
Abstract.....	III
第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的与意义	2
1.2.1 研究目的	2
1.2.2 研究意义	4
1.3 国内外研究动态	5
1.3.1 精准管理分区国内外研究动态和趋势	5
1.3.2 精准管理分区的划定方法与评价国内外研究动态	6
1.4 研究内容及创新点	8
1.4.1 研究内容	8
1.4.2 研究难点	9
1.4.3 研究创新点	10
1.5 技术路线	11
1.6 论文的组织结构	11
1.7 小结	12
第 2 章 理论基础及研究方法.....	13
2.1 概念	13
2.1.1 农作物长势	13
2.1.2 耕地质量	13
2.1.3 土地整治	13
2.2 理论基础	14
2.2.1 精准农业	14
2.2.2 耕地保护理论	15
2.2.3 精准管理分区理论	15
2.2.4 耕地产能理论	16
2.3 主要研究方法	17
2.3.1 最邻近分类方法	17
2.3.2 面向对象多尺度分割法	18

2.3.3 地统计空间分析法	19
2.4 小结	20
第 3 章 研究区概况与数据处理.....	21
3.1 研究区概况.....	21
3.2 数据收集与处理	22
3.2.1 遥感数据的介绍	22
3.2.2 遥感数据获取与处理	23
3.2.3 土壤理化性质获取与处理	24
3.2.4 地形数据获取与处理	24
3.2.5 产量数据获取与处理	24
3.3 小结	25
第 4 章 基于多尺度遥感影像的精准管理分区	26
4.1 耕地遥感分区条件	26
4.1.1 田块尺度土壤养分的空间变异性	26
4.1.2 土壤养分与遥感影像反射率的关系	28
4.1.3 作物长势与植被指数的关系	29
4.2 基于裸土影像的精准管理分区	29
4.2.1 基于高分辨率无人机裸土影像的精准管理分区	29
4.2.2 基于作物生长期 NDVI 的精准管理分区评价	31
4.2.3 基于作物产量数据的精准管理分区评价	31
4.3 基于生长期 NDVI 遥感分区	32
4.3.1 基于高分辨率无人机生长期 NDVI 面向对象分割	32
4.3.2 基于归一化植被指数评价不同分辨率分区结果	34
4.3.3 2019—2022 年各时期 SSMZ 最优分区尺度	36
4.3.4 2019—2022 年精准管理分区时空特征	37
4.4 小结	38
第 5 章 精准管理分区的影响因素与时空格局分析.....	40
5.1 精准管理分区单元分级与定义	40
5.2 精准管理分区时空格局分析	41
5.3 归一化植被指数与地形关系	43
5.4 精准管理分区时空格局成因分析	44
5.5 小结	45

第 6 章 结论与展望 47

6.1 结论 47

6.2 讨论与展望..... 48

6.2.1 基于遥感影像和 NDVI 分区的可行性 48

6.2.2 基于遥感影像精准管理分区的优越性..... 49

6.2.3 地形因子对精准管理分区的影响 50

6.2.4 基于遥感影像精准管理分区的应用 50

6.2.5 精准管理分区与耕地产能提高 50

致 谢 51

参 考 文 献..... 52

个 人 简 介..... 57

第 1 章 绪论

1.1 研究背景

经济全球一体化为世界各国之间经济带来活力，农业也不例外。在这种情况下，农业国际化进程取得了长足的进展。通过引入先进的科学技术、大规模的机械化生产，西方发达国家不断改善农业生产，大大提升了农作物的单产和品质，从而使其在全球市场中脱颖而出。尽管我国农业科技水平需要进一步提高，还有很多需要向欧洲发达国家学习的地方，但是，为了提升我国农业的整体水平，应该采取更有效的措施，加大对农业科技的投入，提升农产品的竞争力，增加耕地的产量，以实现农业的可持续发展。中国的土地面积位居全球第四，但其人口数量却高居全球之首，这使得人均耕地资源极度匮乏，这种稀缺的土地资源已经成为中国农业发展的主要障碍。随着农业生产方式的不合理使用，为增加粮食产量而过度使用化肥和农药，耕地质量和生产力急剧下降，对农业环境构成严重威胁，令人深感担忧。近年来，我国粮食单产和总产量虽然有所提高，但这主要是由于人们过度施肥和使用化学农药。由于化肥的大量使用，我国已成为世界上化肥使用量最大的国家之一。据 2013 年国家统计局，中国农药使用量已达 6000 万吨，占全球使用量的三分之一^[1]。然而，由于农业生产的统一管理方式和家庭联产的不同方法之间的差异，肥料的利用率低于 30%^[2, 3]。随着化肥农药的滥用，耕地的面源污染日趋严重，不仅削弱了农业的生态环境，影响到农作物的品质，还严重损害了耕地的产能^[4]。农业活动造成的污染严重损害了水体，其中氮和磷的排放量最为显著；由于农药和化肥的滥用，许多农田遭受了严重的破坏，给中国的农业生产带来了极大的损失^[4, 5]。中国政府已经颁布“已经确定的耕地红线绝不能突破”，强调了保护耕地的重要性，并将其作为确保国家粮食安全的基础^[6]。虽然我国农业科技发展水平还处于较低状态，但是为了提高农作物的产量，我们必须加强耕地质量保护，严格控制施肥施药的数量，以免土壤退化、土壤板结、环境恶化等问题出现，从而改善农业生产效率。利用先进的科学技术来改善农业生产，实现精确的土壤管理，实现变量施肥施药，不仅可以极大地提升农作物的产量，还能够更好地保护土壤，实现农业可持续发展。中国东北黑土地地区是一个重要的农业生产区。因为过度施肥和使用农药，土壤变得板结，农田质量下降，严重危害了我们的粮食安全。随着时间的推移，中国的粮食价格已经超过了最高限度，玉米收购价也被取消。为了确保耕地的可持续利用，提升其生产效率以及改善农作物的品质，显得尤为重要。通过采用精准管理分区的方法，我们能够根据土壤和作物的特点来制定适当的施肥和施药方案。为了提升粮食产量，同时又减少农

药使用量，制定有效的农业生产措施显得尤为迫切^[7]。通过精确的“子田块”分区，可以有效地控制和调整田间变量，从而实现对不同产量限制因子的有效管控^[8, 9]，这也是实现精准农业发展的关键所在。采取有效措施保护生态环境，降低生产成本可以有效提升农业生产资源的利用率，从而实现农业可持续发展^[10, 11]，为农业可持续发展提供了有力支撑。

从 20 世纪 60 年代开始，遥感技术的飞速发展，极大地影响着人类的日常生活，给人类带来了前所未有的便捷和舒适。通过使用不同的空间和时间分辨率，遥感技术可以利用电磁波来探测目标，而无需人为接触。随着卫星技术的不断发展，它在土地调查、农业信息监测、地理普查、生态监测以及其他领域的应用日益普及^[12]。现在，卫星技术可以实时、快速、低成本地获取光谱数据、时空特征以及农作物的生理参数，为农业生产提供了更多的支持。随着遥感技术的发展，它为农田的精确管理提供了一种新的方法^[13]。与传统的取样方式相比，利用卫星图像创建的区域具有更高的精度和更低的成本。通过精准农业的发展，可以根据土壤营养成分和作物生长情况，有效的农业管理投入调整，包括变量施肥和施药，既能提高农业生产的效益，也有助于改善环境，实现经济、社会 and 环境的可持续发展。采取精细化农业管理和分区措施，可以有效降低农业投入，提高收益，同时减少对肥料的消耗；它对于保护生态系统的健康和提高农田的效率至关重要。尽管传统的精准管理区域划分需要大规模的网格采样，但它们的成本高昂，同时也缺乏及时的响应能力；采用一种更加经济实惠、更具及时性的精准管理分区的技术显得尤为必要。

1.2 研究目的与意义

1.2.1 研究目的

素有“土中之王”的黑土被誉为人类宝贵的资源，其土壤肥沃，作物产量高，中国东北黑土区是全球三大黑土区之一，是我国重要的农业基地，具有重要的经济价值和社会意义。当前，这一地区的粮食产量和供应量均超过全国总量的 1/4 和 1/3，令人印象深刻。东北黑土区的发展可谓是“稳定器”和“压舱石”的典范，它不仅是我国粮食安全的基石，更是实现经济发展的支柱^[13]。近年来，中国政府一直非常重视东北黑土地的保护和利用，尤其是在改革开放以来，通过科学技术的发展、先进技术的应用和推广，以及一系列有力的保护措施的实施，东北黑土地的保护和利用取得了显著的成果。由于多种原因，如长期的过度开采和气候变化，导致了黑土地的退化和耕地质量的下降。耕地的重要性在于它对农业和粮食产量的影响。因此，保护耕地显得尤为重要。

习近平总书记在 2020 年 12 月 28 日召开的中央农村工作会议上强调, 为了加快黑土地可持续利用和改善生态环境, 我们必须将黑土地的保护作为最重要的任务之一。而在 2021 年, 《中央一号文件》再次强调了黑土地的保护工作必须全面加强, 深入推进保护性耕作模式的创新, 把它作为一项具有里程碑意义的国家战略任务。“北大仓”、“黄金玉米带”“中国大豆之乡”“北国粮都”等优秀作品彰显出东北黑土区在中国农业发展中扮演的重要角色。维护东北地区的粮食供应能力是确保粮食安全和实现国家战略目标的关键因素。近年来, 农业粗放经营使耕地质量和生态恶化的问题越来越明显, 化肥农药的不合理使用是主要原因之一。耕地精准管理对农业生产适应可持续发展战略需求具有重要意义, 将为解决人口多、粮食产量不足、环境破坏等矛盾提供巨大帮助。随着精准农业研究的深入, 科学管理耕地不仅可以改变传统农业高投入、低产出、人力物力投入大的特点, 还可以对耕地单元进行精准施肥和实时监测, 对我国耕地资源保护和生态环境可持续发展具有重要作用。确保中国农业的长期繁荣和粮食供应的稳定性是非常重要的。

东北地区在全国率先实施精准管理分区, 依托耕地连片条件。采用先进的精细化管理技术, 可以有效减少对现场的采集, 节省大量的人力、财力和物力。在东北地区, 农场和合作社的耕地面积很大, 土壤和农作物的空间分布非常不均匀, 因此使用传统的采样技术很难实现对区域的精确控制。利用遥感技术划分区域, 能够有效减少人力、物力和财力投入, 而且能够更加精确地控制和管理各种土壤质量和环境条件。利用遥感技术对农田的生长情况进行时间序列监测, 并结合空间格局的变化, 我们可以更加精确地控制作物的生长, 从而为研究区域的农业生产提供有力的理论支撑, 并为更有效的田间管理提供有力的决策依据。

自 20 世纪 80 年代起, 农业的精确管理已成为当今世界十大革命的重要组成部分^[14]。作为精准农业发展的基础, 根据产量的限制因素在相似性和差异性方面的不同, 可以将田地分成若干个子田块, 进行田块变量管理。通过采用先进的精细化管理技术, 我们能够有效地减少对现场的采集, 从而节省大量的人力、财力和物力。经过本次研究, 我们发现耕地立地条件、土地质量等因素对农用地精准管理分区有着重要的影响, 并且发现了不同时期在该区域的精准管理分区结果具有一定的规律性, 为此, 我们可以更好地指导和推动黑土区的耕地管理, 从而提高农业生产效率, 实现土地的有效利用。

相较于传统的农业生产经营方式, 耕地精确管理的关键优势在于, 它能够以较少的投入获得较高的收益。通过实施精细化的耕地管理, 我们能够更好地控制、施肥和监测每一块土地。通过本研究, 我们深入了解了作物生长和土壤理化性质

的空间分布差异，并采取了相应的栽培和田间管理措施，以改变传统的均匀施肥模式，充分发挥作物的生产潜力，同时避免过量施肥导致的生产成本增加和农田水土环境的污染。精确的耕地管理可以有效缓解人口增长、粮食产量不足和环境污染之间的矛盾，同时，这还有助于实现我国农业生产的可持续发展战略目标，并节省农资成本。

1.2.2 研究意义

通过采用精准管理分区方法，我们能够更好地控制农田的用水，并且能够更加有效地提高农作物的产量。这对于维护农业环境、增强土壤肥力都非常重要，并且在理论上也是如此。

采用基于面向对象的分割与空间统计学的技术，我们可以有效地将遥感图像应用到精准管理分区中，而且可以有效地检验分区的正确性^[15]。与传统分区方法相比，该方法具有节约成本、及时性强等优点，更有利于在大规模种植中推广应用。改进农业生产方式，减少生产成本，是促进合作社、农场和东北黑土区发展的重要因素。通过利用 3S 技术进行精准管理分区，提高农业机械化水平可以更好地将现代农业与高新技术结合，发挥 3S 技术在农业领域的独特优势。通过对多年来精确管理分区的研究，我们发现了一些影响分区的因素。通过综合考虑东北黑土区的地貌、土壤营养、作物产量、LAI、NDVI 等指标，我们可以更加清晰地识别他们对精准管理分区的影响。通过从一个全新的角度来探索精准管理分区，不仅可以为其提供有价值的参考，而且还可以为精准农业的发展带来全新的思路和可能性。

在发达的西方国家，由于大规模的农业生产和先进的机械设备的使用，精准分区农业得到了广泛的推广。根据我国的国情和当前的形势，大型国有农场和建设兵团应当积极采取措施，以促进东北黑土区农业的可持续发展^[16]。通过对土壤养分及作物生长的空间差异的研究，我们可以有针对性地将耕地划分成多个管理单元，并采取相应的措施来实现精准农业发展，从而大大提升了农田的生产效率^[17]。研究和发​​展精准农业可以有效地保护和提升耕地资源的利用率和生产效率。通过采取措施减少农业污染，提升农作物品质。为了确保农业的长期稳定发展，我们必须采取措施来保护环境^[18]。因而，保障我国农业的可持续发展与粮食安全至关重要。东北黑土区是重要农业基地，为我国提供丰富的粮食。因为过度施肥和使用农药，土壤结构变得松散，农田质量下降，严重危害了我们的粮食安全。随着时间的流逝，中国的粮食价格已经飙升至历史新高，而玉米收购也因此被迫中止。为了获得更多的收益，农民应该采取精准农业和精细化管理的方式，以降

低农业投入，提升利润，并且有助于提高肥料的使用效率。农业生态和经济的可持续发展是极其重要的。

1.3 国内外研究动态

1.3.1 精准管理分区国内外研究动态和趋势

随着技术的发展，传统的精确管理分区已经不再适用于当前的情况，而是需要更加先进的技术，如聚类算法、人工神经网络法、模糊 c-均值法等，来更好地满足农业生产的需求^[15]。Ostergaard 提出了一种全新的变量管理方法，它将多种因素有机结合，为了实现精准的管理分区，需要考虑多个因素，例如包括地形、作物产量、土壤类型、航空照片、生产者的生产方式和经验数据。这些因素的综合考虑可以帮助我们更好地管理农业生产，实现高效的农业发展，从而提高管理效率和质量^[19]。李翔等学者通过多年的测试数据、多种类型的土壤样本以及空间连续性聚类算法，对精准农业进行了分区管理研究^[20-22]；Forgbroek 和 Oliver 利用土壤和谷物产量数据来精确地将农田划分为不同的管理区域^[23]；Milne 等人利用平滑模糊法对过去的小麦田块进行了有效的管理分区^[24]，而陈彦和吕新则利用 C-均值模糊聚类技术，将 NDVI 数据与原始土壤样本以及外部干扰因素相结合，将田地划分为不同的管理区域，从而有效地管理了小麦田块，并且在新疆绿洲棉田上取得了良好的效果，证明了 c-均值模糊聚类技术的有效性和合理性经过系统分区^[25, 26]，我们得出了可靠的结论，这表明早期的研究已经开始采用模糊聚类技术来精准划分土壤养分的分布范围。然而，由于需要高昂成本采集土壤数据，所以一直没有大范围开展。Cid-Carcia 利用数学模型和土壤准确管理技术，结合作物规划与灌溉技术，成功地确定出种植模式与灌溉方案，并且从土壤理化特征的角度，证明了其中的多样性对精准管理的有效性起着至关重要的作用^[27]。

通过土壤格网采样和变量测产，我们可以获得更加精准的地理分区信息。尽管精准管理分区的精度可能会比较高，但它们仍然存在一些缺陷，例如需要大量的实地调查，这既影响了时间的利用，又浪费了大量的人力和物力。因此，对于广泛的精细化管理，很难使用传统的方法来获取有效的数据。随着科技的进步，NDVI 由 Rouse 等人提出，它是红外波段和近红外波段之间相互影响的比值^[17]。T.M 和 Shaver 使用地面移动远程传感器研究了不同地区的氮管理，研究结果表明，NDVI 与玉米叶片氮含量之间密切相关^[28]。使用便携仪器进行化学测试可以节省大量实验室资源，是一种环保、无损的方式。然而，这种方法仍需要地面采样，限制了它的普及应用^[29]。

随着航天遥感技术的迅速发展,在此基础上精准农业管理分区以其节省人力物力,又确保时效性的特点成为新一代农业管理的趋势。随着遥感技术的飞速进步,它不仅可以为精准划定地域带来更多的便利,而且还可以通过非接触式的、地物对电磁波的反射特征,来实时监控地物的物理化学特征。NDVI 可以被视为植被生态系统的一种重要指标,它可以反映出植被的多样性,包括气候、土壤、植被覆盖率、植被结构、植被覆盖程度、植被覆盖率,以及植被覆盖率变化率^[30]。利用遥感技术,我们能够研究红波段与近红外波段之间的相互关系,从而得出 NDVI。这些指数能够准确地反映出植被的发育情况,并且有助于预测农作物的产量。Bhatti 第一次将遥感影像引入精准农业^[31],通过 Landsat 8 影像数据和地面测量的辅助数据预测土壤磷的含量和小麦产量分布格局。Gallego 和其他研究人员^[32]研究了 NDVI 对番茄产量的影响,并使用常规和回归分析技术来预测它的变化。通过 Martins 和其他研究人员的主成分分析和 K-means 聚类技术,他们发现 NDVI 能够有效地识别大豆田的管理区域,并且能够准确地反映出大豆的产量和土壤的多样性。通过应用面向对象的多尺度分割技术,刘焕军^[33]将同一年份的农作物按照四个不同的 NDVI 时期划分为不同的管理区,并使用莫兰指数来衡量其准确性,结果显示,这种方法比传统的土壤有机质插值技术更加准确。利用遥感技术监测农作物的生长状况和营养状况,可以有效地将农田划分为不同的区域,这样既能保证进度的顺利进行,又能节省人力物力。然而,对于影响精准管理分区的因素,如地形变化等,研究仍然相对较少。Godwin 和 Miller 发现^[34],大田的地貌特征对于控制微气候、土壤营养元素、温度以及其他环境条件,都有着至关重要的作用,从而影响着农作物的生长和收获。通过将遥感图像和地形信息有机融合,可以更加精确地划定和控制区域,这将成为一种全新的思路。

1.3.2 精准管理分区的划定方法与评价国内外研究动态

随着先进的遥感技术的不断进步,可以提供更加精确的分区信息,遥感影像可以分为分辨率中等和高分辨率两类。环境星、Landsat8 OLI 和 wfv (GF-1) 等被归为中等分辨率遥感影像,而 Spot、Worldview 和 Quickbird 等则属于高分辨率遥感影像。高分辨率遥感影像的品质相对于中等分辨率遥感影像来说更高,图像更加清晰。通过遥感影像的分割和对要素、参数和特征等的提取技术,可以对其进行处理,可以获得更加准确的信息。可以将原始影像转换为更加精细的形式,从而更好地进行图像的解释。通过采用面向对象技术,可以有效地将遥感影像中的信息分割成多个独立的图斑单元,并且可以根据不同的分割尺度,灵活调整分割参数,从而实现高精度的遥感影像管理,为决策者提供可靠的数据支持。

在精准管理分区的划定方法和评价方面，国内外很多学者已经展开了广泛的研究，不断取得新的进展。根据学者们的研究，目前常用的精准管理分区方法有两种：第一种是基于聚类分析的方法，它可以根据土壤营养状况和产量数据进行分类，以更加准确地实现管理目标；第二类方法采用面向对象的技术，通过遥感监测来评估农作物的生长情况和营养状况，并将其划分为不同的区域。通过应用机器学习技术^[33]，可以将土壤划分为不同的区域，其中包括养分属性。采用聚类技术，结合相关性，我们可以确定影响农作物产量的最重要因素，并且可以使用主成分分析来识别出这些因素之间的高度相关性，从而有效地管理这些因素，提升农作物的总体产量^[35, 36]。

近年来，由于遥感技术的飞速进步，用于精准管理分区的遥感图像数量不断增加。基于遥感的分析主要基于像素和面向对象两类。面向地理对象的影像分析技术，模仿人们对现实世界中各种事物的认知过程，将一个面状物体 **Object** 作为认知的基本单元，而这种面状物体在影像中是由一系列的像素组成的，这也是它区别于传统基于像素。图像分割作为面向对象分析的第一步，其应用范围极其广泛，包括神经网络、支持向量机^[37]、多尺度分割等，它们都为遥感影像的处理提供了有力的支持^[38]。通过面向对象的多尺度分析，进行冬小麦种植面积的提取，并且可以直接提取质量信息，大大减轻了遥感与 GIS 数据集成的负担^[39]。影像分割是面向对象分类的核心，它不仅可以帮助我们更准确地提取信息，而且还能够极大地提高信息提取的效率和准确性。通过图像分割，可以将图片中的相似的像素进行合并，从而使其成为一个独立的、可用于识别的多边形，它包含了图片的光谱、纹理、形状、尺寸、颜色、位置等特征，从而使得图片的信息损失最小化。研究人员刘焕军等人对田块格局和成因进行了深入研究，他们发现，地形是影响作物生长的关键因素，这一结论得到了作物长势和精准管理分区的支持^[40]。通过采用面向对象多尺度分割技术，可以充分利用遥感影像的分辨率光谱和纹理信息，更精确地描绘出地物的尺寸、形状和地形之间的关系，从而大大提高信息提取的准确性，有效避免了“椒盐现象”方法带来的不良影响。

大多数分区评估方法都是基于空间统计学的，它们通过计算每个区域的面积比例变化、平均值、标准差，以及变异系数，来衡量该区域的精确性。一般来说，对于精细化的管理分区，我们会评价区域内的同质性和区域间的异质性。如果区域内的同质性高，区域间的异质性高，说明分区的效果较好。为了确定最佳聚类数，我们将采用两个有效性函数：模糊性能指数（Fuzzy Performance Index，FPI）和归一化分类熵（Normalized Classification Entropy，NCE）。FPI 是一种指标，用于表示可分离数据矩阵的程度。可以使用 NCE 来模拟数据矩阵的分解，通过限

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/137011063015006151>