

亚地块尺度秸秆信息丰度研究

丁启朔^{1,2} 陈杰^{1,2} 汪小岳^{1,2} 何瑞银^{1,2} 徐高明^{1,2} 梁磊^{1,2}

(1.南京农业大学工学院,南京 210031; 2.江苏省智能化农业装备重点实验室,南京 210031)

摘要:不断拓展的秸秆资源应用途径丰富了亚地块尺度下秸秆信息丰度的研究,但界定和表达亚地块尺度下秸秆信息丰度尚缺乏科学规范。本文以机收小麦原茬地的秸秆信息丰度为研究对象,设计系列指标(立茬与碎秸的质量分布、碎秸堆叠层数、立茬侧影覆盖度),分别探讨原位网格取样称草、平板匀铺图像处理、背景板图像处理、碎秸筛分、人工观察计数等手段与方法,进行原茬秸秆信息的指标化。将获取的多维秸秆信息进行归一化处理,并运用图像相似度分析法研究信息指标间的相关性。结果表明,本文提出的秸秆信息参数及测试方法增加了亚地块尺度下的秸秆信息丰度,秸秆信息图像间的相关分析也能反映出各指标间的内在联系。所得信息反映了收获机的留茬状态与碎草性能,碎秸质量集中分布在割幅中间区域。立茬质量分布受作物行间距影响,碎秸堆叠层数表达了机排草口的排草状况,立茬侧影覆盖度分布可反映收获机的留茬碾压破坏情况。秸秆信息指标间的相关分析表明,地表秸秆总质量与碎秸质量的相似度为 0.89、与立茬质量相似度为 0.43,碎秸质量与碎秸堆叠层数相似度为 0.64,立茬质量与立茬侧影覆盖度相似度为 0.48。本文界定的亚地块尺度下秸秆信息丰度及其参数化研究结果可为系统开展亚地块尺度下秸秆信息技术研发提供参考。

关键词: 秸秆分布; 信息丰度; 亚地块尺度

中图分类号: S233.4; S24 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2022)06-0054-08 OSID: 

Investigation on Sub-plot Level Straw Information Abundance

DING Qishuo^{1,2} CHEN Jie^{1,2} WANG Xiaochan^{1,2} HE Ruiyin^{1,2} XU Gaoming^{1,2} LIANG Lei^{1,2}

(1. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China

2. Key Laboratory of Intelligent Agricultural Equipment of Jiangsu Province, Nanjing 210031, China)

Abstract: As the channels for straw usage are steadily increasing, sub-plot level straw information abundance is increasingly a topic drawing the attention. However, a systematic investigation on sub-plot straw information abundance is lacking. A field study was conducted in a post-harvest wheat field to explain sub-plot straw information abundance. Multiple indicators were proposed, including straw mass distribution, fragmented straw clumping index, side-shadow of standing straw, fragmentation index of straw pieces, lodging index of standing straw etc., and specific digitization techniques were designed, i. e. cell sampling + weighing method, machine vision with uniform layer straw on white plate method, background plate side vision method, sieving method, supplemented with manual counting for calibration. In addition to the acquired indices, normalized parameters of straw information were analyzed and the correlations among indicators were visually explained. Results showed that techniques investigated in this work were effective for collecting straw information for improved info-abundance. Information technologies proposed were powerful when applied for interpreting the underlying causes for each indicators, e. g. straw distribution within the cutter width, influence from wheat row width, straw exits performance, straw damage status by the harvesters etc. Correlation analysis also indicated relationships among observed indicators, e. g. similarity between straw mass distribution and fragmented straw distribution was 0.89, yet the value was 0.43 with standing straw distribution. Fragmented straw has 0.64 in similar with clumping index, while that for standing straw and side-shadow was 0.48. Achieved results by this work could be useful for future when the sub-plot straw information abundance and its utilization were to be systematically investigated.

Key words: straw distribution; information abundance; sub-plot level

收稿日期: 2021-06-03 修回日期: 2021-07-10

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0300908)、江苏省苏北科技专项(SZ-LYG2017008)和江苏省农业科技自主创新基金项目(CX(17)1002)

作者简介: 丁启朔(1968—),男,教授,主要从事土壤-植物-机器系统科学研究,E-mail: qsding@njau.edu.cn

0 引言

目前,秸秆已从原有的农业废弃物概念被定义为可再生生物质资源,导致秸秆信息化技术越发受到重视。秸秆信息化是指按所需应用将秸秆状态、分布、理化特性等信息进行参数化、数量化的过程。秸秆信息应用领域十分广泛,秸秆资源统计^[1-2]、保护性农业^[3-4]、秸秆资源开发^[5]、精确播种^[6-7]、作物行农机导航^[8-9]、机械灭茬^[10]、耕作埋草^[11-12]等研究或应用场景都需要不同维度的秸秆信息。

不断扩大的秸秆信息应用领域增加了秸秆量、秸秆覆盖率、碎秸与立茬的分布状况等秸秆信息量(即信息丰度)的获取需求。仅在农业机械的创新设计范畴内,就涉及到收获机排草性能^[13-14]、耕作机具秸秆还田性能^[13-15]、犁耕埋草作业性能^[16]、智能农机导航性能^[9]、灭茬机灭茬效果^[17]等诸多应用领域。

秸秆信息丰度涉及诸多量化参数,例如,不同生产条件与留茬高度是决定秸秆资源可收集量计算的关键指标^[18],直立茬和轮迹倒伏茬状态是影响扶指支撑设计及灭茬机秸秆粉碎效果的 2 个关键参数^[17],保护性农业的免耕种植需要重点解决秸秆堵塞及其测试技术,涉及秸秆抛撒运动规律等信息的参数化^[19]。随着秸秆的区域性、季节性、结构性过剩现象不断加剧,加之不断拓展的秸秆综合利用需求^[20],秸秆信息丰度的研究内容变得愈加丰富。

秸秆信息具有典型的多尺度特征,其中,秸秆信息场景所处尺度决定着秸秆信息参数的具体用途和采集方法的设计。为此,将相关学者的研究成果分为区域尺度和地块内尺度(本文定义为亚地块尺度)2 种秸秆信息的尺度范畴。区域尺度的秸秆信息关注农业生态区的秸秆覆盖状态及其时空分异,此类秸秆信息多使用遥感图像、光谱反射等测试技术及数据反演方法^[21-23]。而亚地块尺度下的秸秆信息具有多阈值、多目标等技术特征^[24],这些技术特征受亚地块尺度下应用场景间的差异所影响。仅从农机高性能设计所需的秸秆信息看,收割排草^[13-14]、秸秆还田^[13-15]、智能导航^[9]、机械灭茬^[17]等应用场景所需的秸秆信息指标各不相同。因此,亚地块尺度下的秸秆信息丰度研究需要全面考察多样化的秸秆信息及其指标化,如在玉米对行播种等应用场合,需要识别并区分出裸露地表、直立根茬和行间碎秸等关键信息^[9],"立茬"和"碎秸"状态也是进行针对性机械设计、功率配置及秸秆切碎效果优化的关键信息参数^[25]。可见,系统界定亚地块尺度下秸秆信息丰度并探讨其参数化是目前秸秆信息研

究亟需解决的重要问题。

目前尚缺乏针对亚地块尺度下秸秆信息丰度的系统研究,已有报道多围绕单一信息指标或仅关注特定应用场景,亚地块尺度下秸秆信息丰度的指标设计和测试方法目前不具有系统性和完整性。秸秆信息指标的定义不完善,秸秆信息指标的测试难度大、复杂性高、秸秆形态多样、秸秆覆盖率等参数获取主观性大、田间测试耗时费力^[26]等都是亚地块尺度秸秆信息丰度研究面临的难题。

鉴于此,本文拟以稻茬麦原茬地的秸秆信息丰度为研究对象,利用机器视觉、称量、相关分析等方法探讨亚地块尺度下的秸秆信息丰度及其指标化,为亚地块尺度下秸秆信息丰度研究提供思路。

1 材料与方法

1.1 原茬地秸秆取样方法

田间试验于 2018 年 6 月上旬在宿迁市泗洪县石集乡(东经 117°56'~118°46',北纬 33°08'~33°44')进行,该区常年稻麦轮作。试验点取小麦原茬地,小麦机收使用久保田 688Q 型全喂入收获机,功率 49.2 kW、割幅 2 m、作业速度维持在 4.93 m/s 内。机收后沿收获机幅宽随机选取边长 2 m 的方形区域,在该区域内依次排布 16 个样框(图 1a)。进一步在各样框内使用网格法取样^[13-14],网格尺寸为 25 cm×25 cm(图 1b)。先将各网格内的碎秸取出,后沿行向紧邻留茬根部的后方竖立白色背景板并对立茬拍照,拍照完成后用剪刀贴地面剪下各网格内的立茬,带回实验室测试,获取秸秆质量、碎秸堆叠层数、立茬侧影覆盖度等信息参数。地块内秸秆信息研究的场景以及秸秆取样后的地貌特征分别如图 1c 和图 1d 所示。

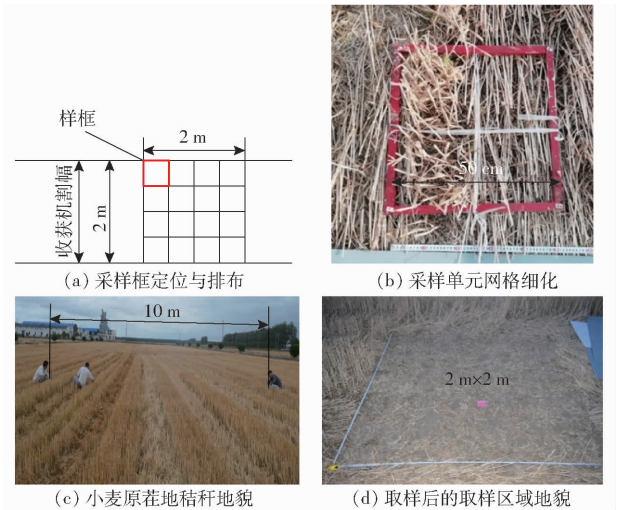


图 1 田间秸秆取样方法

Fig. 1 Field straw sampling method

1.2 立茬与碎秸信息化方法

将收集到的 64 组立茬与碎秸样本进行信息化处理,分别测试各样本的质量、碎秸堆叠层数、立茬侧影覆盖度、碎秸细碎度、立茬倒伏度等信息参数。

各网格内的秸秆质量:分别将所取碎秸与立茬样本置于 100℃^[27]干燥箱干燥 12 h,取出称量并得到碎秸质量 m_s 与立茬质量 m_l ,两者之和即为一个网格内的秸秆总质量 M 。

地表碎秸堆叠层数:使用平板匀铺图像法测试秸秆堆叠层数,将每个网格中的碎秸单层均匀铺在带有 7.5 cm×7.5 cm 基准块的白板上(图 2a,图中黑色方块为 7.5 cm×7.5 cm 的基准参照物),使用尼康 NiKon D3200 型数码相机拍摄获取数字图像,相机置于白板正上方 1.5 m 位置^[28]。使用 Matlab 程序计算秸秆单层覆盖面积(图 2b),并参照已有方法计算秸秆堆积层数^[29]

$$S_L = \frac{S_l}{S_d} \tag{1}$$

式中 S_L ——堆叠层数
 S_l ——碎秸单层覆盖面积,cm²
 S_d ——碎秸覆盖面积(网格面积),cm²

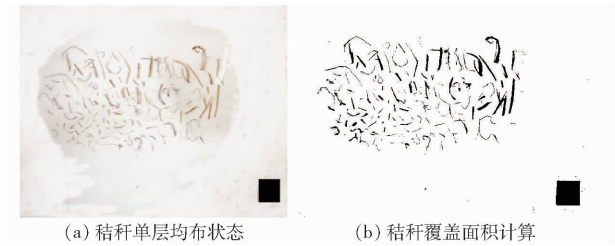


图 2 堆叠层数图像测试方法
Fig. 2 Image testing method of stacked layers

立茬侧影覆盖度 L_c 是定量立茬高度、宽幅及疏密程度等形态结构特征的指标^[30-31],计算式为

$$L_c = \frac{A}{S} \tag{2}$$

式中 S ——取样网格面积,cm²
 A ——取样网格内立茬的侧影面积,cm²
使用背景板图像法测试立茬侧影覆盖度,将白色背景板置于样框内立茬后方拍摄,如图 3 所示。拍照过程中选用刻度尺作为标定物进行图像标定。使用尼康 NiKon D3200 型数码相机,在距离 2 m 且离地高度 30 cm 处拍摄,获取秸秆立茬数字图像。使用 Digimizer 逐张处理,得到总投影面积 A 。由式(2)得到侧影覆盖度。

碎秸细碎度:使用碎秸长度作为碎秸细碎度的定量指标。使用筛分法测取碎秸的平均直径,分别使用 2、4、6、8、16 mm 筛孔的筛子手动筛分,计算各网格内的碎秸平均直径^[32]



图 3 立茬投影面积的测试方法
Fig. 3 Test method of standing stubble projected area

$$D = \frac{\sum (m_{si}d_i)}{\sum m_{si}} \tag{3}$$

式中 D ——碎秸平均直径,mm
 d_i ——2 个筛孔间的碎秸平均长度,mm
 m_{si} ——存留在 i 级筛面上的碎秸质量,g
计算出各网格内碎秸平均长度 D 并以 2D 图像方式显示碎秸细碎度的地表分布状态。

立茬倒伏度:采用人工观察计数法统计每个样点的立茬状态和数量,获得倾斜角低于 60°的立茬比例进行立茬倒伏度测量。并将立茬倒伏状态数据以 2D 图像方式显示。

1.3 碎秸单层覆盖面积与质量相关分析

在上述秸秆信息各指标测试量化的基础上,进一步分析原茬地秸秆的各信息量之间的关系。将未被过度破碎的长草近似视为半径为 r 、长度为 l 的柱状体,则有碎秸单层覆盖面积与碎秸质量关系

$$S_l = 2m_s/(\rho r) \tag{4}$$

式中 ρ ——秸秆密度,g/cm³
当秸秆半径 r 与秸秆密度变化范围不大时, S_l 与 m_s 呈正相关。

定义碎秸面积-质量相关系数 f 为

$$f = \frac{S_l}{m_s} \tag{5}$$

f 越大,表明秸秆细碎化程度越高。

1.4 立茬侧影面积与立茬质量相关分析

立茬侧影面积与立茬质量间的相关性也能在一定程度上反映原茬秸秆的状态信息,令

$$g = A - A_0 \tag{6}$$

式中 g ——立茬的投影面积差值,该值对应立茬的倒伏程度

A_0 ——立茬被机具轧倒前的总投影面积

结合式(2)、(4)建立投影面积 A_0 与质量 m_l 间的正比关系。

将式(6)转换为

$$g' = m_l^* - A^* \tag{7}$$

式中 g' ——立茬投影面积变化归一化差值
 m_l^* —— m_l 无量纲化值

A^* —— A 无量纲化值
 $g' \in (-1, 1)$, 该值越大, 说明倒伏程度越严重。

1.5 秸秆信息丰度可视化技术

秸秆数据的图形化与图像化是直观呈现多维秸秆信息的一种方式。将各信息指标的相关性信息数据转化为 8×8 矩阵, 并使用 Matlab 软件将所得秸秆信息图形化。

在对各组数据进行相关分析之前, 对数据进行无量纲化处理^[33]

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \beta_j}{\alpha_j - \beta_j} \tag{8}$$

式中, x_{ij} 为数据矩阵中的矩阵元素, i, j 均为 $1 \sim 8$ 的正整数, $\alpha_j = \max_i(x_{ij})$, $\beta_j = \min_i(x_{ij})$ 。且有: $x_{ij}^* \in [0, 1]$, 元素最大值为 1, 最小值为 0。

使用矩阵相似度 (也称为图像相似度) 计算方法^[34]处理所得数据, 得到秸秆不同信息量间的相关系数

$$R = \frac{\sum_i \sum_j (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_m \sum_n (X - \bar{X})^2 (Y - \bar{Y})^2}} \tag{9}$$

式中 X, Y ——进行相似度计算的两组数据矩阵
 $\bar{X}, \bar{Y}$ ——共轭矩阵
 R ——相关系数

$R \in (-1, 1)$, R 越接近 -1 或 1 , 则两个矩阵相似度越高, 越接近 0 , 则相似度越低。

2 结果与分析

2.1 小麦秸秆质量与各形态信息参数的原位分布特征

图 4 为原茬地秸秆 5 个信息的地表分布状态。由图 4a 可知, 总体上, 总质量最大值为 50.54 g, 最小值为 19.93 g, 平均值为 33.39 g。其分布呈中心十字状的集聚现象, 富集网格内的秸秆总质量在 35 ~ 50 g 之间变化, 其他区域分布较少, 多在 20 ~ 30 g 之间。

碎秸质量分布 (图 4b) 表现出较好的分布均匀性, 在一定程度上反映出收获的后置出草口的匀铺性能。与以往田间调查^[13]所得秸秆铺放不均的结论相比, 现有的收获机的碎草和匀铺性能已有明显改进。总体上, 碎秸质量最大值为 41.24 g, 最小值为 12.03 g, 平均值 23.23 g, 集中分布在割幅中间 ($y \in (0.8 \text{ m}, 1.8 \text{ m})$), 该位置属于后置出草口喷口经过的区域。

立茬质量分布 (图 4c) 显示, 立茬质量最大值为 18.64 g, 最小值 1.54 g, 平均值 10.16 g, 主要集中在图像矩阵坐标点 (0, 1.6 m)、(0.5 m, 0.8 m)、(1.1 m, 1.2 m)、(1.5 m, 0.8 m)、(2 m, 1.8 m)、(2 m, 0.6 m) 所对应的网格内, 影响该信息指标的因素是来自小麦播种行的行间距分布及其与取样网格的位置关系, 因此对该信息的解读较为困难。

地表碎秸的堆叠层数分布 (图 4d) 显示, 机械收

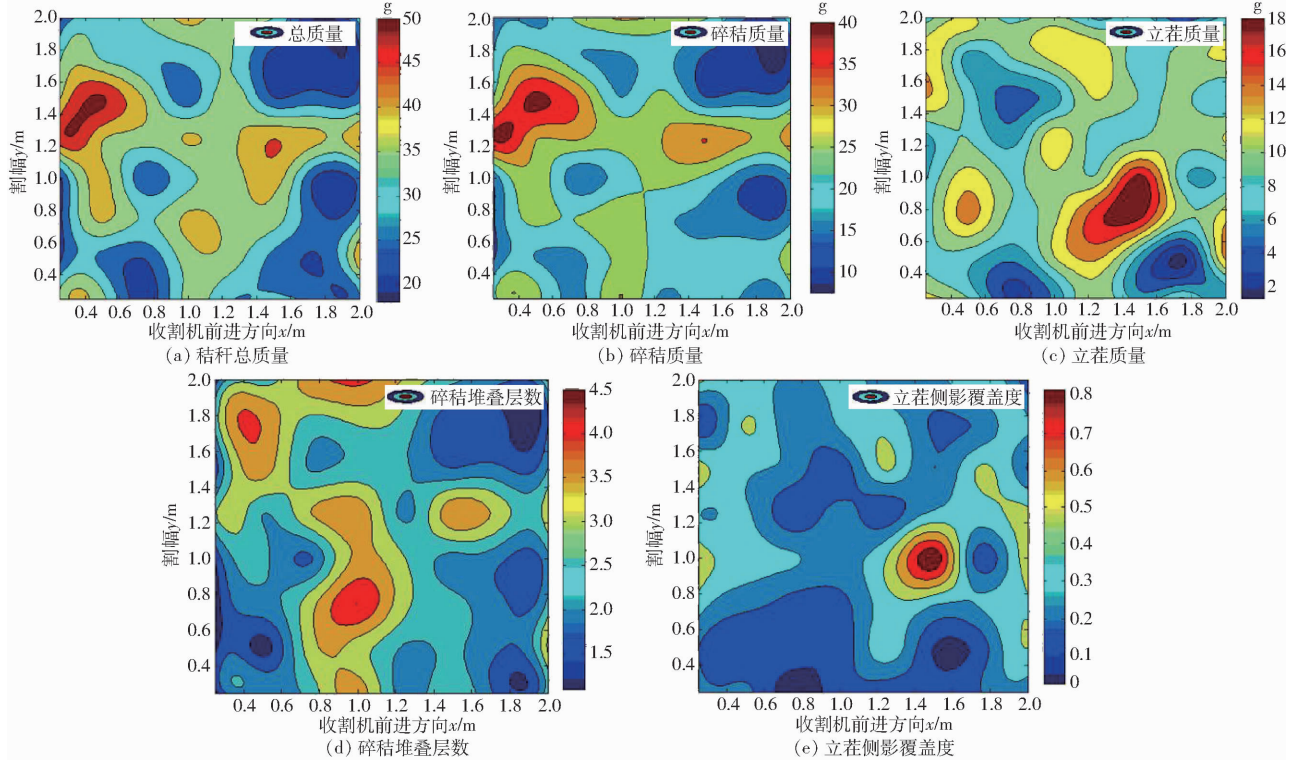


图 4 原茬地秸秆各参数的地表分布状态

Fig. 4 Distributions of key parameters of straw and stubble within a field

获后的秸秆覆盖状态及秸秆堆叠层数,该信息受收获机排草口的流量影响。图中碎秸堆叠层数最大值为 4.33 层,最小值为 1.12 层,平均值为 2.56 层。由图可见碎秸沿收获机前进方向的中间区域($x \in (0.6\text{ m}, 1.2\text{ m})$),堆叠程度较高,均处于 3 层以上,且也表现出行进方向堆叠的不均匀性。碎秸堆叠的影响因素较多,除排草口的流量外,收获机的行进速度稳定性、物料在收获机内部的分布均匀性、逐稿器设计合理性及动作连续性等都可能影响到碎草堆叠的地表分布。

立茬侧影覆盖度分布(图 4e)表明,在经过收获机碾压倒伏之后的直立茬分布特征,总体上,立茬侧影覆盖度最大值为 0.78,最小值为 0.03,平均值为 0.28。该信息分布图显示机收对直立茬的影响较大。稻麦轮作区因机收季节土壤湿烂而普遍使用履带式底盘,因此对直立茬的轧倒破坏较为严重。

2.2 秸秆信息相关分析与校验

2.2.1 秸秆信息相关分析

将地表秸秆总质量(图 4a)分别与碎秸质量分布(图 4b)、立茬质量分布(图 4c)进行图像相似度计算,使用公式(9)得出地表秸秆总质量与碎秸质量相似度 $r_{ab} = 0.89$ 、与立茬质量相似度 $r_{ac} = 0.43$,表明不同秸秆信息间的相似度差别较大。从图像的视觉效果也可直观看出,秸秆总质量分布与碎秸质量分布的极值点位置及数据的平面波动特征非常接近,因此,碎秸质量分布对总质量分布的影响更大,秸秆匀铺尚需要进一步优化设计收获机的清选排草装置,同时也需要探讨收获机田间作业条件下的环境稳定性控制技术,进一步提高抗风扰、机组工况行进稳定性等前沿技术。

将碎秸质量分布(图 4b)与碎秸堆叠层数(图 4d)使用公式(9)进行图像相似度计算,得出

$r_{bd} = 0.64$ 。结合直观视觉效果可见,除 $x \in (0.6\text{ m}, 1.5\text{ m})$ 的条状区域外,其余网格区域在极值点的所处位置和数据变化 2D 趋势方面也高度相似,而横坐标 $x \in (0.6\text{ m}, 1.5\text{ m})$ 所属区域,正是所得到的碎秸堆叠层数较高的区域,因此,深入探讨不同秸秆信息指标之间的内在联系不仅有利于提升秸秆信息丰度的质量内涵,更有利于实现高秸秆信息丰度的信息降维技术。

将立茬质量分布(图 4c)与立茬侧影覆盖度(图 4e)进行图像相似度计算,得出 $r_{ce} = 0.48$,该数值较低表明收获机对立茬的直立状态破坏程度较大,使得图像发生了较大变化。同样,结合图 4c 与图 4e 的直观视觉效果可见,除了 $x \in (0.8\text{ m}, 1.5\text{ m})$ 处的立茬未受影响,其它立茬均不同程度被收获机轧倒。

2.2.2 碎秸单层覆盖面积与碎秸质量相关性校验

碎秸的单层覆盖面积与碎秸质量的相关系数 f 准确性尚需人工校验。首先通过机器视觉法得出 f 的分布(图 5a),将其与手工测试的秸秆细碎度分布(图 5b)对比。

进一步将图 5a 与图 5b 进行相关分析,计算得到二者间的相似度 $R = -0.722$ 。说明基于机器视觉技术的碎秸堆叠层数信息与人工测量的碎秸细碎状态具有较高的相关性。

图 5a 与图 5b 均能表达秸秆的细碎化程度及其分布状态,对于图 5a,碎秸面积-质量相关系数 f 平均值为 $0.704\text{ 2 dm}^2/\text{g}$,变化范围在 $0.317\text{ 2} \sim 1.060\text{ 8 dm}^2/\text{g}$ 之间;对于图 5b,秸秆平均长度最大值为 13.44 mm ,最小值为 4.02 mm ,平均值为 6.12 mm 。该信息可以表征收获机的碎草性能。图 5a 进一步表明 $x \in (0.6\text{ m}, 1.5\text{ m})$ 区域的秸秆细碎程度较高,同时也是碎秸堆叠层数较高的区域(图 4d),该区域对应收获机出草口喷草量较高的位

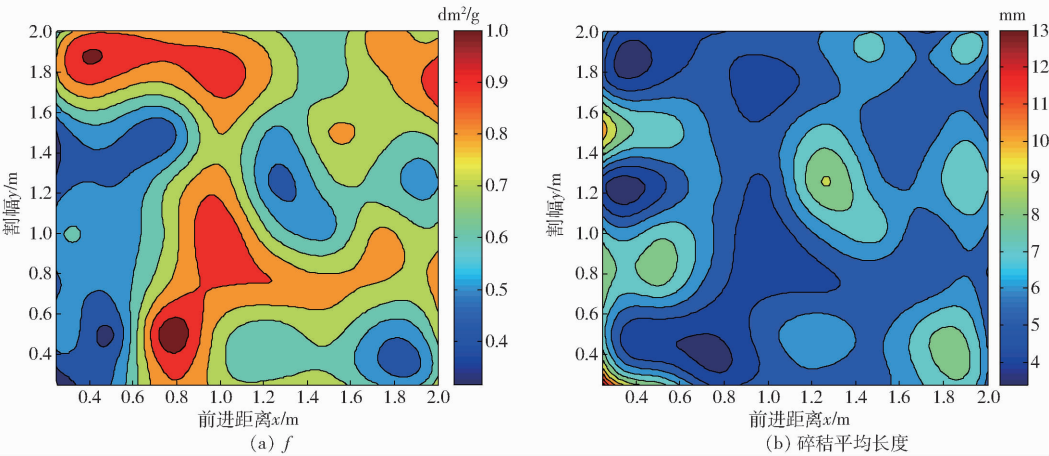


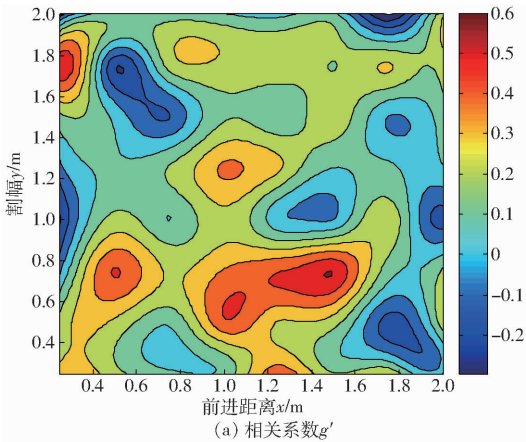
图 5 碎秸面积-质量相关系数分布与人工测试的秸秆细碎度对比

Fig. 5 Comparisons of area - mass ratio distribution using machine vision and manual measured straw distribution

置。在图像 $x \in (0, 0.6 \text{ m})$ 与 $(1 \text{ m}, 1.6 \text{ m})$ 处,细碎化程度较低的秸秆在此区域集中出现。

2.2.3 立茬的侧影覆盖度信息校验

立茬侧影面积与立茬质量间的归一化差值 g' 的准确性尚需校验。首先得出该值分布(图 6a),



将其与人工测取的立茬倒伏度分布(图 6b)进行对比。

通过式(9)计算得到图 6a 与图 6b 图像相似度 $R^2 = 0.63$,表明机器视觉技术的侧影覆盖度信息与人工测量的立茬倒伏状态具有较高的相似度。

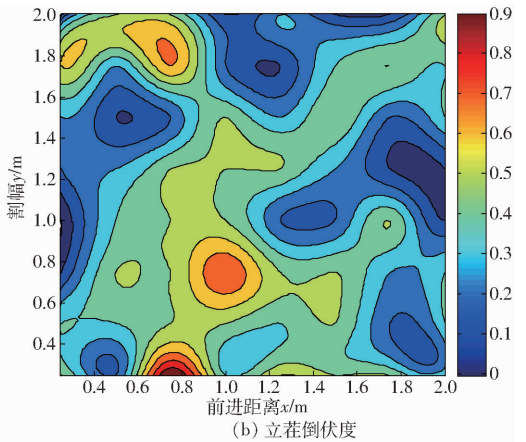


图 6 立茬侧影面积与质量归一化差值 g' 分布与立茬倒伏度分布对比
Fig.6 Comparison of correlation ratio g' with results obtained from manual operation

图 6 能够直观反映出立茬碾压倒伏的状态,图 6a 中, $x \in (0.20 \text{ m}, 0.50 \text{ m})$,立茬侧影面积与立茬质量的归一化差值的平均值为 0.18;图 6b 中,立茬倒伏度在 0 ~ 1.0 均有分布,其平均值为 0.4。南方稻麦轮作制的履带式机收条件下秸秆碾压倒伏普遍较为严重,图像下半部分整体的倒伏程度强于上半部分,这是因为收获机在收获过程中存在路径重叠的情况,尤其是对某区域往返经过时,该区域秸秆会经过两次及以上的碾压,秸秆倒伏加剧。

3 讨论

不同的应用场景需要不同的秸秆信息及相应的测试技术与指标化方法。秸秆资源储量计算^[35-37]、保护性耕作地表秸秆覆盖率管控^[24,38]等应用场合需要区域大尺度范畴的秸秆信息。而与田间作业机械密切相关的秸秆信息则体现为地块尺度内的秸秆信息参数化,涉及收获机的排草性能^[13-14]、耕作机具的秸秆还田性能^[13-15]、犁耕埋草作业性能^[16]、智能农机导航性能^[9]、灭茬机的灭茬效果^[17]等应用场景。因此,界定地块尺度下的秸秆信息丰度有利于秸秆信息化研究的进一步聚焦。亚地块尺度下的原茬地秸秆信息丰度高,信息化指标多样,所需适配的多样化信息化技术亟待开发和深入研究。已有的部分秸秆信息的报道均为各单项田间试验研究成果,秸秆信息丰度作为一个完整的信息科学研究问题,尚没有得到系统的梳理和探究。现有秸秆还田效应研究^[39-40]、地表秸秆量化^[14]、生物量估计^[41]等研

究与应用场景分别使用了不同的秸秆信息指标,尚缺少具体生产应用场景的综合性秸秆信息丰度体现。本文初步系统地探讨了的小麦原茬地秸秆信息丰度(秸秆总质量、碎秸质量、立茬质量、碎秸堆叠层数、立茬侧影覆盖度等),进而展示亚地块尺度下秸秆信息研究的复杂性及其潜在应用。所得结果表明,亚地块尺度下秸秆信息丰度有利于促进田间作业机械的设计合理性、促进土壤-作物-机器耦合关系等议题的研究。

秸秆信息研究的关键难题在于各指标的信息化技术。比如,地表秸秆存量、可收集的小麦秸秆资源量等秸秆资源信息可以通过遥感影像间接获取增强型植被指数(MODIS-EVI)^[37],光谱指数与秸秆覆盖度的线性回归模型也是进行秸秆覆盖度反演的最优策略^[22]。然而,王春雷等^[26]指出,田间秸秆的信息化技术应用的干扰因素源于多方面:地表在不同光照下呈现的颜色变化、纵横的沟壑与不规则的土块、不同角度的光照及其产生的阴影、农业机械作业留下的不规则车辙等。另外,秸秆的形状、大小和姿态也呈现多样,这些因素均为细碎秸秆的信息化识别技术的研发难点。由本文所得结果可见,亚地块尺度下秸秆信息丰度研究所需技术环节众多,无论是所用的背景板辅助、关键环节的人工操作、秸秆平铺处理,还是立茬侧影等指标化量化处理技术,后续各指标间的内在联系分析挖坑技术、秸秆信息指标与各机械化作业环节之间的关联分析,各方面都需要大量的理论创新和技术突破,以适应信息化智能化农业的要求。

4 结 论

(1)以秸秆信息应用场景的尺度作为判据界定出亚地块尺度下的秸秆信息丰度的研究问题,并设计出碎秸质量分布、立茬质量分布、地表碎秸的堆叠层数分布、立茬侧影覆盖度分布等留茬与碎草的信息参数,应用于小麦原茬地的秸秆信息丰度研究。

(2)系统应用数字图像处理、基于背景板的立茬图像法、基于平板单层匀铺的秸秆质量-图像关系等多种信息化手段,研究了原茬地小麦秸秆多维信息。单位区域(25 cm × 25 cm)的秸秆总质量、碎秸

质量、立茬质量分别在 19.53 ~ 50.54 g、12.03 ~ 41.24 g、1.54 ~ 18.64 g 之间变化,各指标在收获机全幅宽的观测范围内呈现出 2D 分布特征且能够在一定程度上反映出收获机的结构与农艺特色。

(3)秸秆信息图像的相关分析反映出各秸秆信息间的联系及机具的田间作业效果,地表秸秆总质量与碎秸质量相似度 r_{ab} 为 0.89、与立茬质量相似度 r_{ac} 为 0.43。碎秸质量分布与碎秸堆叠层数的相似度 r_{bd} 为 0.64。立茬质量与立茬侧影覆盖度的相似度 r_{ce} 为 0.48。不同秸秆信息间的相关性有着较大差异。

参 考 文 献

[1] 韩鲁佳,闫巧娟,刘向阳,等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3):87-91.
HAN Lujia, YAN Qiaojuan, LIU Xiangyang, et al. Straw resources and their utilization in China[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(3):87-91. (in Chinese)

[2] 田宜水,赵立欣,孙丽英,等. 农作物秸秆资源调查与评价方法研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(增刊1): 583-586.
TIAN Yishui, ZHAO Lixin, SUN Liying, et al. Study on crop straw survey and evaluation method[J]. China Population Resources and Environment, 2011, 21(Supp. 1):583-586. (in Chinese)

[3] 范丙全,刘巧玲. 保护性耕作与秸秆还田对土壤微生物及其溶磷特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 130-132.
FAN Bingquan, LIU Qiaoling. Effect of conservation tillage and straw application on the soil microorganism and P-dissolving characteristics[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2005, 13(3):130-132. (in Chinese)

[4] 韩新忠,朱利群,杨敏芳,等. 不同小麦秸秆还田量对水稻生长、土壤微生物生物量及酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(11):2192-2199.
HAN Xinzhong, ZHU Liqun, YANG Minfang, et al. Effects of different amount of wheat straw returning on rice growth, soil microbial biomass and enzyme activity[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012,31(11):2192-2199. (in Chinese)

[5] 孙妮娜,董文军,王晓燕,等. 东北稻区水稻收获秸秆处理方式综合效果研究[J]. 农业机械学报, 2020, 51(4):76-84.
SUN Ni'na, DONG Wenjun, WANG Xiaoyan, et al. Comprehensive effect of rice harvesting straw treatment methods in Northeast Rice Region[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(4):76-84. (in Chinese)

[6] 徐弘博,胡志超,吴峰,等. 全量稻秸还田小麦播种机秸秆分流还田装置设计[J]. 农业工程学报, 2019, 35(9):19-28.
XU Hongbo, HU Zhichao, WU Feng, et al. Design of straw distributed retention device of wheat planter under full rice straw retention[J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(9):19-28. (in Chinese)

[7] 王金峰,陈博闻,姜岩,等. 水稻秸秆全量深埋还田机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(1):91-100.
WANG Jinfeng, CHEN Bowen, JIANG Yan, et al. Design and experiment on machine for rice straw full quantity deep buried into field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(1):91-100. (in Chinese)

[8] 王晓燕,陈媛,陈兵旗,等. 免耕覆盖地秸秆行茬导航路径的图像检测[J]. 农业机械学报, 2009, 40(6):158-163.
WANG Xiaoyan, CHEN Yuan, CHEN Bingqi, et al. Detection of stubble row and inter-row line for computer vision guidance in no-till field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(6):158-163. (in Chinese)

[9] 陈婉芝. 基于机器视觉的免耕播种机对行避茬技术研究[D]. 北京:中国农业大学,2018.
CHEN Wanzhi. Study on maize stubble avoidance technology based on machine vision for row-follow no-till seeder[D]. Beijing: China Agricultural University,2018. (in Chinese)

[10] 吴子岳,高焕文,陈君达. 秸秆切碎灭茬机的模型研究与参数优化[J]. 农业机械学报, 2001, 32(5):44-46.
WU Ziyue, GAO Huanwen, CHEN Junda. Modeling and optimization of a stalk and stubble chopper[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(5):44-46. (in Chinese)

[11] 陈青春,石勇,丁启朔,等. 正反转旋耕作业的秸秆混埋效果比较[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9):13-18.
CHEN Qingchun, SHI Yong, DING Qishuo, et al. Comparison of straw incorporation effect with down-cut and up-cut rotary tillage[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(9):13-18. (in Chinese)

[12] 郭俊,姬长英,方会敏,等. 正反转旋耕后土壤和秸秆位移试验分析[J]. 农业机械学报, 2016, 47(5):21-26.
GUO Jun, JI Changying, FANG Huimin, et al. Experimental analysis of soil and straw displacement after up-cut and down-cut rotary tillage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5):21-26. (in Chinese)

[13] 石勇. 旋耕秸秆混埋还田质量试验研究[D]. 南京:南京农业大学,2015.

- SHI Yong. Experimental research on the effect of straw incorporation with rotary tillage [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015. (in Chinese)
- [14] BELAL E, OKINDA C, DING Qishuo, et al. Mass-based image analysis for evaluating straw cover under high-residue farming conditions in rice-wheat cropping system [J]. *Agricultural Research*, 2017, 6(4): 1–9.
- [15] ZHOU Hua, ZHANG Chunling, ZHANG Wenling, et al. Evaluation of straw spatial distribution after straw incorporation into soil for different tillage tools [J]. *Soil and Tillage Research*, 2020, 196: 1–10.
- [16] ELTOM A E F, DING Weimin, DING Qishuo, et al. Field investigation of a trash-board, tillage depth and low speed effect on the displacement and burial of straw [J]. *Catena*, 2015, 133: 385–393.
- [17] 赵博, 汪小岳, 杨四军, 等. 水稻灭茬机扶茬机构设计与试验 [J]. *华南农业大学学报*, 2018, 39(4): 100–104.
ZHAO Bo, WANG Xiaochan, YANG Sijun, et al. Design and experiment of lifting mechanism of rice stubble cleaner [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2018, 39(4): 100–104. (in Chinese)
- [18] 顾克军, 杨四军, 张斯梅, 等. 不同生产条件下留茬高度对水稻秸秆可收集量的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(4): 831–835.
GU Kejun, YANG Sijun, ZHANG Simei, et al. Effect of stubble height on collectable amount of rice straw under different cultivation patterns [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(4): 831–835. (in Chinese)
- [19] 廖庆喜, 高焕文, 舒彩霞. 免耕播种机防堵技术研究现状与发展趋势 [J]. *农业工程学报*, 2004, 20(1): 108–112.
LIAO Qingxi, GAO Huanwen, SHU Caixia. Present situations and prospects of anti-blocking technology of no-tillage planter [J]. *Transactions of the CSAE*, 2004, 20(1): 108–112. (in Chinese)
- [20] 王飞, 石祖梁, 李想, 等. 区域秸秆全量处理利用的概念、思路与模式探讨 [J]. *中国农业资源与区划*, 2016, 5(5): 8–12.
WANG Fei, SHI Zuliang, LI Xiang, et al. Discussion on concept, design idea and technology model of regional total straw utilization [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2016, 5(5): 8–12. (in Chinese)
- [21] 邓祥征, 韩建智, 王小彬, 等. 免耕与秸秆还田对中国农田土壤有机碳贮量变化的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2010(6): 22–28.
DENG Xiangzheng, HAN Jianzhi, WANG Xiaobin, et al. Effect of no-tillage and crop residue return on soil organic carbon dynamics of cropland in China [J]. *Soil and Fertilizer Sciences*, 2010(6): 22–28. (in Chinese)
- [22] 黄晋宇, 刘忠, 万炜, 等. 基于土壤异质背景的玉米秸秆覆盖度遥感反演 [J]. *应用生态学报*, 2020, 31(2): 474–482.
HUANG Jinyu, LIU Zhong, WAN Wei, et al. Remote sensing retrieval of maize residue cover on soil heterogeneous background [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(2): 474–482. (in Chinese)
- [23] 李志婷, 王昌昆, 潘贤章, 等. 基于模拟 Landsat-8 OLI 数据的小麦秸秆覆盖度估算 [J]. *农业工程学报*, 2016, 32(增刊 1): 145–152.
LI Zhiting, WANG Changkun, PAN Xianzhang, et al. Estimation of wheat residue cover using simulated Landsat-8 OLI datas [J]. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(Supp. 1): 145–152. (in Chinese)
- [24] 刘媛媛, 王跃勇, 于海业, 等. 基于多阈值图像分割算法的秸秆覆盖率检测 [J]. *农业机械学报*, 2018, 49(12): 27–35, 55.
LIU Yuanyuan, WANG Yueyong, YU Haiye, et al. Detection of straw coverage rate based on multi-threshold image segmentation algorithm [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2018, 49(12): 27–35, 55. (in Chinese)
- [25] 邱进, 吴明亮, 官春云, 等. 动定刀同轴水稻秸秆切碎还田装置结构设计及试验 [J]. *农业工程学报*, 2015, 31(10): 11–19.
QIU Jin, WU Mingliang, GUAN Chunyun, et al. Design and experiment of chopping device with dynamic fixed knife coaxial for rice straw [J]. *Transactions of the CSAE*, 2015, 31(10): 11–19. (in Chinese)
- [26] 王春雷, 卢彩云, 陈婉芝, 等. 基于遗传算法和阈值滤噪的玉米根茬行图像分割 [J]. *农业工程学报*, 2019, 35(16): 198–205.
WANG Chunlei, LU Caiyun, CHEN Wanzhi, et al. Image segmentation of maize stubble row based on genetic algorithm and threshold filtering noise [J]. *Transactions of the CSAE*, 2019, 35(16): 198–205. (in Chinese)
- [27] 雷廷宙. 秸秆干燥过程的实验研究与理论分析 [D]. 大连: 大连理工大学, 2006.
LEI Tingzhou. Experimental study and theoretical analysis of stalk drying process [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2006. (in Chinese)
- [28] PFORTE F, WILHELM B, HENSEL O. Evaluation of an online approach for determination of percentage residue cover [J]. *Biosystems Engineering*, 2012, 112(2): 121–129.
- [29] NOVAK M D, CHEN W, HARES M A. Simulating the radiation distribution within a barley-straw mulch [J]. *Agricultural & Forest Meteorology*, 2000, 102(2–3): 173–186.
- [30] SCHLICHTING H. Experimentelle untersuchungen zum rauhgheitsproblem [J]. *Ingenieur-Archiv*, 1936, 7(1): 1–34.
- [31] 黄富祥, 王明星, 王跃思. 植被覆盖对风蚀地表保护作用研究的某些新进展 [J]. *植物生态学报*, 2002, 26(5): 627–633.
HUANG Fuxiang, WANG Mingxing, WANG Yuesi. Recent progress on the research of vegetation protection in soil erosion by wind [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2002, 26(5): 627–633. (in Chinese)