

东北南部施氮对玉米籽粒品质的影响

杨子慧 李翔宇 宫香伟*

沈阳农业大学农学院 辽宁沈阳 110866

摘要: 本试验设置了0 kg N hm⁻² (N0)、112 kg N hm⁻² (N1)、262 kg N hm⁻² (N2)、337 kg N hm⁻² (N3) 四个氮肥水平,研究了不同氮肥水平下玉米籽粒的总淀粉含量、淀粉的直链淀粉含量与糊化特性等变化。施氮显著增加了淀粉的直链淀粉含量,但降低了籽粒的总淀粉含量。氮肥对玉米籽粒淀粉的糊化特性有显著影响,峰值黏度在N2处理下表现最优,且比N0处理增加了20.6%。最终黏度与回生值在N2处理出现峰值,适量增加氮肥施用量会加速淀粉糊化过程中的最终黏度与回生值,但过量时黏度会降低。N2处理淀粉也同样显示出更高的溶解度和膨胀度。由此可见,在实际生产中应采取合适的氮肥水平,以实现更优的玉米籽粒品质。

关键词: 玉米籽粒; 氮肥; 淀粉; 糊化特性

玉米是全球广泛种植的粮食作物之一,多年来一直位居中国主要粮食作物的首位。玉米在中国的农业产出、食品制造业以及饲料加工业中扮演了不可或缺的角色。它的种子品质不但与农民的收入紧密相连,同时也对食品产业的进步和消费者的健康产生直接影响。随着人们生活质量的提高和饮食习惯的改变,玉米的应用也发生了由注重产量向注重品质的重要转变。玉米品质的显著性已经被普遍意识到,然而对其形成的机制和调控方法的研究仍旧不够充分。氮肥是玉米产量和品质的关键影响因子,其用量直接影响玉米籽粒的品质指标^[1]。淀粉因其独有的物理和化学特性,在众多领域中扮演着不可或缺的角色。本研究通过分析不同施氮量对玉米籽粒品质的影响,揭示氮肥与玉米籽粒品质之间的内在联系。研究成果不仅为玉米籽粒品质的调控提供科学理论依据,还为玉米籽粒的加工和利用提供重要参考。

一、材料与方法

(一) 试验地概况

本试验地点位于辽宁省铁岭市蔡牛镇的沈阳农业大学试验基地,该位置位于北纬42° 49',东经

124° 16',海拔高度为74 m。该试验基地位于我国著名的“黄金玉米带”,是玉米种植的主要区域。该区域气候特征表现为温带大陆性季风气候,全年霜冻自由期约180 d,平均气温为6.8℃,平均降水量为658.7 mm。试验地的土壤类型为褐壤土,具有明显的淋溶性,土壤黏性较强,且具有良好的生物蓄积能力。

(二) 试验设计

试验于2022年开展,4个氮肥梯度分别为0 kg N hm⁻² (N0)、112 kg N hm⁻² (N1)、262 kg N hm⁻² (N2)、337 kg N hm⁻² (N3),该试验地小区长度为10 m,行距为0.6 m,面积96 m²,种植密度为67500株 hm⁻²,试验重复3次。玉米品种为‘郑单958’,4月末通过人工播种,播种前进行除草,拔节期进行蚜虫防治,10月初收获。氮肥按照试验设计的用量以基追比1:2的比例施用,追肥在拔节期进行,使用的是商用肥料尿素(N占46%)。将磷肥和钾肥作为基肥施入土壤,在各处理中用量保持相同,均为90 kg hm⁻²,分别使用过磷酸钙(P₂O₅,P占18%)和氯化钾(K₂O,K占60%)。

(三) 淀粉提取

选择发育良好的玉米籽粒去除杂质,采用分离玉米淀粉取500 g玉米籽粒,高速万能机粉碎,通过200目筛。将筛过的玉米粉与0.2% NaOH溶液充分混合,室温静置24 h。将淀粉悬浮液4000 rmp离心10 min,弃上清液,用勺子小心刮去上面黄色杂质,仅剩白色沉淀。上述离心步骤重复三次。将沉积物与蒸馏水混合,用0.1 mol/L的HCl溶液中和至pH=7.0。将所得淀粉进行纯度分析,且纯度均需大于95%,保存用于理化性质测定。

基金项目: 沈阳市中青年科技创新人才培养专项(RC230899)和沈阳农业大学博士科研启动经费(X2021057)

作者简介: 杨子慧(2003—),女,满族,辽宁桓仁人,本科,研究方向为作物高产栽培。

通讯作者: 宫香伟(1993—),男,汉族,黑龙江克山人,博士,副教授,研究方向为作物高产栽培理论与技术。

(四) 总淀粉和直链淀粉含量测定

采用蒽酮比色法测定籽粒中的总淀粉含量。采用双波长法测定带淀粉直链淀粉含量。向离心管中加入 10 mg 淀粉，加入无水乙醇 (100 μL) 和 NaOH (900 μL)。将混合物水浴煮沸 (同时摇晃均匀) 10 min。冷却后将醋酸 (0.1 mL) 和碘化钾溶液 (0.2 mL) 与原液 (0.5 mL) 混合。用蒸馏水将上清液稀释到 10 mL。冷却后，通过紫外可见分光光度计 (翱艺 A390, 中国上海) 测量混合物在 620 nm 处吸光度以计算直链淀粉含量。

(五) 淀粉糊化特性测定

采用快速粘度分析仪 (RVA, Techmaster, Perten) 测定玉米粉的糊化性能。将 3 g 样品 (水分 14%) 和 25 mL 水的混合物放入特制的 RVA 铝盒中，按照以下程序进行测量：50℃ 保温 1 min，加热至 95℃ (3.7 min)，保温 2.5 min，冷却至 50℃ (3.8 min)，保温 2 min，960 rpm 搅拌 10 s，160 rpm 搅拌完成，整个过程持续 13 分钟。

(六) 淀粉溶解膨胀度测定

淀粉的溶解度和膨胀度将淀粉 (0.3 g) 和蒸馏水 (10 mL) 在干燥的离心管中混合，将离心管置于室温 (25℃) 静置，3000 rpm 离心 30 min，然后分别在 60℃、70℃、80℃、90℃ 中水浴 30 min。称量管内的沉淀物样品，将上清液倒入铝盒中干燥称量。溶解度和膨胀度按干重计算，公式如下：

$$\text{溶解度} (\%) = m_1/m_0 \times 100\%$$

$$\text{膨胀度} (g/g) = m_2/m_0 \times (100\% - \text{溶解度} \%)$$

式中， m_0 为淀粉样品的重量 (g)， m_1 为干燥后上清的重量 (g)， m_2 为膨胀后淀粉沉积物的湿重 (g)。

(七) 淀粉透明度测定

淀粉透光率 (LT) 采用如下方法测定：将 1% 的悬浮液于离心管中 95℃ 水浴加热 20 min，期间摇晃以防止淀粉在加热过程中结块。以蒸馏水为空白对照，冷却至室温 (25℃)，620 nm 波长处测量透射率。

(八) 统计分析

本试验采用单因素 ANOVA 比较不同施氮处理下玉米籽粒糊化特性、溶解度膨胀度、直链淀粉含量、总淀粉含量、透明度的差异，用 SPSS 27.0 进行方差分析，用 Origin2021 作图。

二、结果与分析

(一) 施氮对玉米籽粒淀粉含量的影响

如图 1 所示，施氮显著影响了玉米籽粒中总淀粉含量，且随施氮量的增加，玉米籽粒总淀粉含量整体上呈现出降低的趋势。相较于 N0 处理，N1、N2 和 N3 处理籽

粒总淀粉含量分别降低了 1.4%、0.9%、2.7%。相较于 N3 处理，N2 处理总淀粉含量增加了 18.4%，N1 与 N2 处理之间总淀粉含量差异较小。

施氮对直链淀粉含量产生了显著影响，随着施氮量的增加直链淀粉含量呈现出持续增加的趋势，并且在 N3 处理出现峰值。相较于 N0 处理，N1、N2、N3 分别降低了 1.8%、7.0%、13.7%。相较于 N1 处理，N2 和 N3 处理增加了 5.6%、13.9%，但 N1 处理与 N0 处理之间差异不显著。

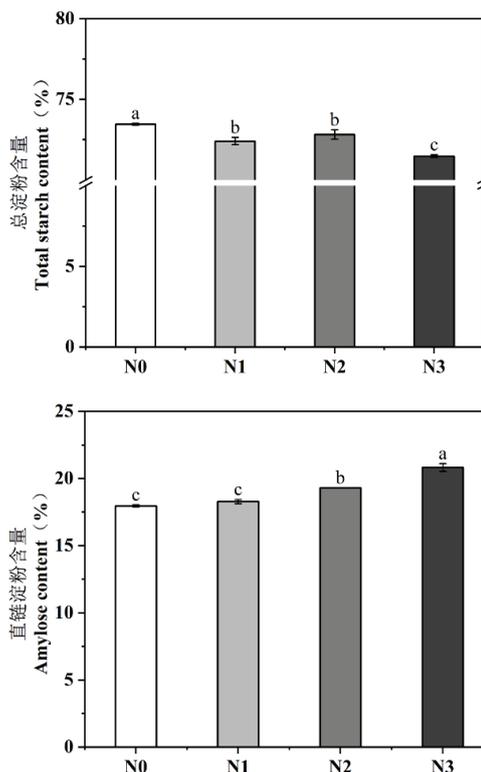


图 1 施氮对玉米籽粒总淀粉与淀粉直链淀粉含量的影响

(二) 施氮对玉米籽粒糊化特性的影响

1. 峰值黏度

如图 3 所示，玉米淀粉糊化过程前期粘度受氮肥影响较小，随着糊化温度的升高粘度发生了显著变化。玉米籽粒淀粉的峰值黏度在 N2 处理出现峰值，与 N0 处理相比，N2 处理增加了 3.4%，N1 和 N3 处理则分别降低了 14.1%、21.7%。

2. 谷值黏度

不同施氮量对玉米籽粒淀粉谷值粘度的影响 (图 3)。玉米籽粒淀粉的谷值黏度在 N0 处理出现峰值，在 N0 处理下的玉米籽粒淀粉的谷值粘度与 N1、N2 和 N3 相比，分别降低了 18.1%、8.0%、12.4%。在 N2 处理下显著高于 N1 和 N3 处理的谷值粘度，且分别降低了 11.0%、4.8%。N3 处理下的谷值粘度与 N1 和 N2 均没有显著差异。

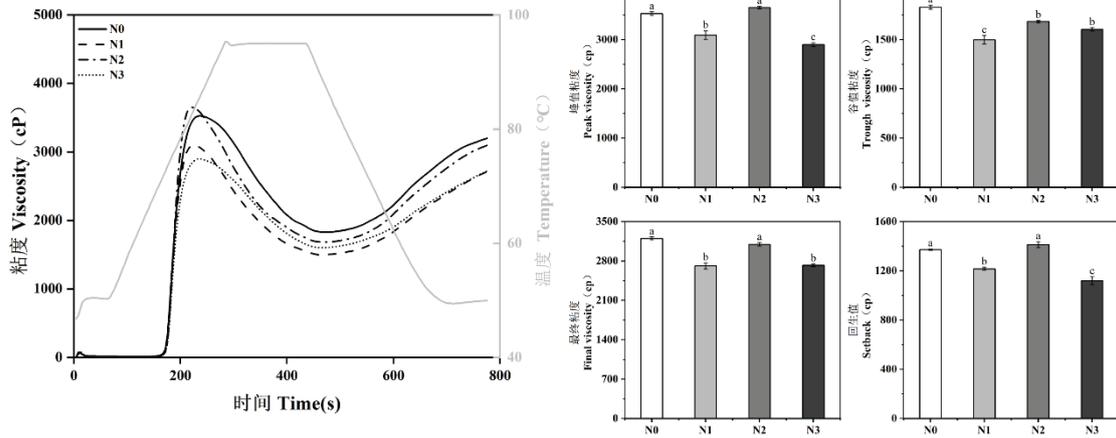


图3 施氮对玉米淀粉糊化特性的影响

3. 最终粘度

不同施氮量对玉米籽粒淀粉最终粘度的影响如图3所示，N0处理下的玉米籽粒最终粘度显著高于N1、N2、N3处理，相较于N0处理，N1、N2、N3分别降了15.2%、3.3%、14.9%。N2处理玉米籽粒淀粉最终粘度与N1和N3相比显著增加，且分别增加了12.3%、12.0%。

4. 回生值

施氮显著影响了淀粉的回生值，呈现N2>N0>N1>N3的趋势。氮肥处理下随着施肥量的增加玉米籽粒淀粉的回生值呈现先升高后降低的趋势，且N2处理显著高于N1和N3，分别增加了13.88%和20.68%。相较于N0处理，N1和N3处理分别降低了11.37%和18.37%。

(三) 施氮对玉米淀粉溶解度膨胀度的影响

1. 溶解度

如表1所示，在60℃时N0和N1处理玉米淀粉溶解度显著高于N2和N3，且分别增加了N2和N3处理的26.0%、20.9%和16.7%、12.6%，N0和N1处理之间差异不显著。在70℃时N2和N3处理玉米淀粉溶解度显著

表1 施氮对玉米淀粉溶解度的影响

N处理	溶解度 (%)			
	60℃	70℃	80℃	90℃
N0	1.96 ± 0.13a	3.49 ± 0.12c	5.24 ± 0.08b	8.71 ± 0.43bc
N1	1.74 ± 0.04ab	5.00 ± 0.18b	5.24 ± 0.35b	9.25 ± 0.33b
N2	1.45 ± 0.01c	5.39 ± 0.04a	7.56 ± 0.27a	11.71 ± 0.15a
N3	1.52 ± 0.04bc	5.14 ± 0.02ab	7.27 ± 0.11a	7.81 ± 0.30c

注：数据为均值 ± 标准差，n=3。同一年份同一耕作方式同列不同字母表示差异显著 (p<0.05)。

Note: Data are means ± standard deviation, n = 3. Different letters of the same tillage mode in the same year in the same column indicate significant differences (p < 0.05).

高于N0和N1处理，分别增加了N0和N1处理的35.3%、7.2%和32.1%、2.7%，而N2和N3两组之间差异不显著。在80℃时N2和N3处理玉米淀粉溶解度显著高于N0和N1处理，分别高出N0与N1处理的30.7%、30.7%和38.7%、38.7%，N2和N3两组之间差异不显著。在90℃时N2处理玉米淀粉溶解度显著高于N0、N1和N3处理，分别高出25.6%、21.0%、33.3%。

2. 膨胀度

表2显示，在60℃时，N0处理玉米淀粉展现出的膨胀度大显著高于N1、N2和N3处理，分别降低了7.8%、22.7%和22.7%。N1处理使得玉米淀粉的溶解度显著增强，较N2和N3处理提高了16.2%。在70℃条件下，N2处理玉米淀粉其膨胀度大幅上升，与N0处理相比，增幅达到了15.3%。在80℃条件下，N2与N3处理玉米淀粉其膨胀度显著增加，相较于N0与N1处理，分别提升了25.3%、28.4%和21.4%、24.7%。在90℃，N2处理玉米淀粉其膨胀度高于N0与N1处理，分别提升了14.6%和1.3%。

表2 氮肥对玉米淀粉膨胀度的影响

N处理	膨胀度 (g/g)			
	60℃	70℃	80℃	90℃
N0	3.87 ± 0.05a	8.40 ± 0.06b	10.15 ± 0.06b	15.03 ± 0.08c
N1	3.57 ± 0.08b	9.56 ± 0.08ab	9.73 ± 0.45b	17.38 ± 0.37b
N2	2.99 ± 0.06c	9.92 ± 0.69a	13.58 ± 0.06a	17.60 ± 0.32a
N3	2.99 ± 0.08c	9.19 ± 0.09ab	12.92 ± 0.37a	16.16 ± 0.7ab

注：数据为均值 ± 标准差，n=3。同一年份同一耕作方式同列不同字母表示差异显著 (p<0.05)。

Note: Data are means ± standard deviation, n = 3. Different letters of the same tillage mode in the same year in the same column indicate significant differences (p < 0.05).

(四) 施氮对玉米淀粉透明度的影响

如图10所示,随着施氮量的增加玉米淀粉透明度呈现先生高后降低的趋势,且在N2处理出现峰值。相较于N0处理, N1和N2处理透明度分别增加了12.31%和18.85%。相较于N2处理, N0、N1、N3处理分别降低了5.50%、15.86%、20.06%。

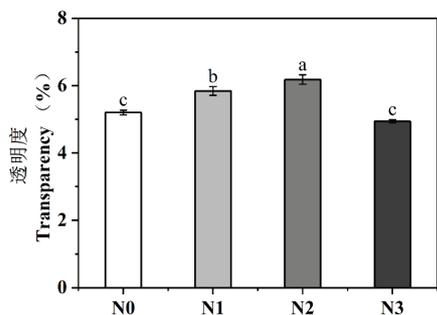


图4 不同施氮量对玉米籽粒透明度的影响

三、讨论与结论

作为C4植物,玉米在生长过程中需要充足的养分供应,氮素是其所需的关键营养要素之一,不可或缺。在本试验中,随着氮肥水平的增加,直链淀粉含量显著增加,而总淀粉含量却显著减少。总淀粉含量的增加主要与施氮后蛋白质的增加有关,增加的蛋白质容易与淀粉形成网状的复合结构致使淀粉含量降低^[2]。峰值黏度(PV)代表淀粉在糊化过程中达到的最高黏度,揭示了淀粉颗粒膨胀的程度以及与水分子结合的能力。随着施氮量的增加,峰值黏度先降低然后升高,最后显著降低,这与房康睿等^[2]对水稻施氮研究结果相似。此外,淀粉颗粒粒径大小与淀粉粘度有关,更大的淀粉颗粒往往粘度更高。因此,峰值黏度的差异与淀粉颗粒在加热过程中吸收水分的速度有关^[3],适量施氮可通过调节玉米淀粉颗粒的膨胀度和吸水率来提高淀粉粘度。回生值反映了淀粉糊在冷却后的稳定性和老化程度,进而影响食品的口感和品质^[4]。因此,在N2处理略有降低的回生值有助于改善口感。N3处理得到的淀粉糊状物粘度较低,可能是因为较高的蛋白质含量降低了淀粉的糊化特性,包括蛋白质和淀粉网络复合物的形成、蛋白质的吸水性以及蛋白质二硫键的存在^[5]。施氮后淀粉的糊化温度显著升高,进一步表明淀粉糊的糊化需要更多的能量。窦海珊等^[6]发现直链淀粉分子容易结合再生淀粉糊,从而散射光线,降低透明度(LT)。而在本研究中, N3处理既提高了直链淀粉含量,又增加了透明度,这与高立城等^[7]的研究结果一致。崔鹏等^[8]研究发现,粒径越大,淀粉糊残渣越低,透明度越高。而我们发现N0处理透明度更高。透明度不仅与较大的淀粉颗粒有关,还与直链

淀粉含量、直链淀粉/支链淀粉比、结构稳定性有关,这些指标都受耕作方式与施氮影响。

膨胀度反映了淀粉在水中经过加热、冷却和离心后的保水能力,而溶解度反映了淀粉在膨胀过程中的溶解程度^[9]。70℃时淀粉的溶解度和膨胀度较60℃时显著提高。在水浴中,淀粉颗粒膨胀,晶体结构被破坏,水分子通过氢键连接到淀粉链的羟基上,从而增加了溶解度和膨胀度。60℃时,淀粉颗粒的溶解度和膨胀度随施氮量的增加先减小后增大,以N2处理最低。由于直链淀粉可抑制淀粉颗粒的膨胀,防止支链淀粉双螺旋结构受损,因此低温下可能会发生溶解度和膨胀度的变化。然而90℃时,这一趋势发生了变化,因为除了直链淀粉外,其他因素在高温下也起主要作用,包括淀粉粒的尺寸、结构和稳定性。本研究以郑单958玉米品种为研究对象,探讨了氮肥水平对玉米籽粒品质的影响。适宜氮肥有助于调节玉米品种,因此,在实际生产中,应根据土壤肥力和玉米生长需求,合理施用氮肥,以获得优质的玉米籽粒。

参考文献

- [1]徐静.施氮水平及方式对不同玉米品种产量的影响分析[J].种子科技,2023,41(12):17-19.
- [2]房康睿,龙世平,彭斯文,等.洞庭湖区典型稻田玉米水稻轮作下土壤—作物系统对施氮措施的响应[J].中国农业科学,2024,57(10):1979-1994.
- [3]刘帅,徐学欣,孟繁港,等.滴灌水肥一体化下施氮量和追氮时期对夏玉米籽粒品质及淀粉糊化特性的影响[J].西北农业学报,2024,33(03):426-434.
- [4]张立本,万素梅,胡宇凯.水稻栽培技术措施对稻米品质的影响[J].种子科技,2023,41(04):142-144.
- [5]蒋岩,赵灿,陈越,等.氮素肥对粳米淀粉特性和结构的影响及其与食用特征的关系[J].作物学报,2023,49(01):200-210.
- [6]窦海珊,管俊娇,李小林,等.云南省2008-2023年审定水稻品种品质及相关性状分析[J].中国种业,2024(05):62-72.
- [7]高立城.施氮对甜荞籽粒胚乳发育、淀粉合成及理化性质的影响[D].西北农林科技大学,2022.
- [8]崔鹏,赵逸人,姚志鹏,等.低温对甘薯淀粉理化特性及代谢关键基因表达量的影响[J].中国农业科学,2022,55(19):3831-3840.
- [9]李润卿,申勇,朱宽宇,等.施氮量对超级稻南粳9108产量、淀粉RVA谱特征值和理化特性的影响[J].作物杂志,2022(01):205-212.