

新疆塔额盆地滴灌冬小麦氮营养诊断研究

徐向阳¹, 白如霄^{2*}, 艾海峰¹, 范守杰¹, 李怀胜¹, 王贺亚¹, 孟玲¹, 刘燕¹

[1. 新疆生产建设兵团第九师农业科学研究所 (畜牧科学研究所), 新疆 塔城 834601;

2. 新疆农垦科学院, 新疆 石河子 832000]

摘要:为实现塔额盆地滴灌冬小麦氮营养诊断、确定适宜施氮量,在2020—2021年开展了两年大田试验。试验以‘新冬18’为研究对象,共设5个氮肥水平(0、80、160、240和320 kg/hm²),分析不同施氮量对小麦地上部生物量及植株氮浓度的影响,构建冬小麦临界氮浓度稀释曲线模型,并计算不同施氮量的植株氮营养指数,分析其与相对产量的关系,确定冬小麦氮营养丰缺情况。研究表明,冬小麦各生育时期,施氮量从0增加到240 kg/hm²,植株生物量及氮浓度差异显著,但当施氮量从240增加到320 kg/hm²时,植株生物量及氮浓度差异不显著。施氮量与产量的拟合曲线表明,超过一定的施氮量后,增施氮肥会降低冬小麦产量,说明存在氮奢侈消费现象。依据地上部生物量与植株氮浓度构建的冬小麦临界氮浓度稀释曲线模型 $N_c=3.088DM^{-0.374}$,模型决定系数 $R^2=0.918$,模型检验参数(标准化均方根误差, n-RMSE)为8.89%,模型稳定性极好。基于植株临界氮浓度计算的氮营养指数,冬小麦适宜施氮量为160~240 kg/hm²。冬小麦各生育时期,氮营养指数与相对产量的相关性均达到显著水平。综上所述,建立的塔额盆地冬小麦临界氮浓度稀释曲线模型及氮营养指数可以较好地诊断并评价冬小麦氮营养状况。

关键词:滴灌冬小麦;临界氮浓度稀释曲线;氮营养指数;氮素营养诊断

氮素是影响作物生长发育和产量的敏感因素,对改善作物品质也有明显作用。氮肥施用量不足,作物生长发育受限、产质量下降;氮肥施用量过多,作物产质量亦会降低,还会造成氮环境排放量升高、污染环境^[1-2]。因此,确定植株生长所需的最佳施氮量对减少污染、增加作物产量、实现农业可持续发展具有重要意义^[3]。

明确作物不同生育时期的临界氮浓度是氮肥合理施用的前提^[4]。临界氮浓度指植株生长过程中实现最大生物量所需的最低氮浓度,随生物量的增加而降低^[5]。Lemaire等^[6]在1989年用稀释曲线 $N_c=aDM^{-b}$ 来描述植株临界氮浓度(N_c)随生物量(DM)增加而降低的变化规律。为进一步诊断作物的氮营养状况,前人提出氮营养指数的概念,即植株实测氮浓度和临界氮浓度的比值^[6]。当该值等于1时,植株氮营养适宜,该值小于1时,植株氮营养不足,该值大于1时,植株氮营养过剩。关于作物临界氮浓度稀释曲线及氮营养诊断研究,

Greenwood等^[7]、王新等^[8]在1990年首先提出适用于C3、C4植物的通用模型,但受作物种类、品种及生长环境影响,该模型并不适合所有的C3、C4植物。之后,国内外学者分别建立了玉米^[9-10]、水稻^[11]、棉花^[12]、甜菜^[13]、烤烟^[14]、番茄^[15-16]、小麦^[17-18]等作物的临界氮浓度稀释曲线模型并研究了氮营养指数变化。模型自变量不仅限于植株生物量,而且有叶面积指数、相对叶绿素含量及冠层覆盖度等。研究结果均表明,临界氮浓度模型和氮营养指数可以很好地实现研究区域作物的氮含量预测。

新疆塔额垦区作为冬小麦的重要产区,在实际生产中一直存在过量施肥问题,增产不增收现象较为普遍。关于该地区冬小麦适宜施氮量及氮营养诊断研究目前尚少见相关报道。因此,本文选择当地主栽冬小麦品种‘新冬18’,设置不同的施氮量,拟通过构建冬小麦临界氮浓度稀释曲线及氮营养指数,对该地区滴灌水肥一体化条件下冬小麦定量和精准施用氮肥提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

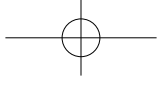
试验于2020和2021年在新疆生产建设兵团第

收稿日期:2022-09-30;录用日期:2022-10-24

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD02004060)。

作者简介:徐向阳(1969-),农艺师,大专,主要从事作物栽培与推广。E-mail:936337933@qq.com。

通讯作者:白如霄,E-mail:brx_shz@163.com。



九师农业科学研究所试验基地 (46° 48' N、83° 29' E) 进行, 土壤养分状况见表 1。

表 1 耕层 (0 ~ 40 cm) 土壤理化性状

年份	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH
2020	18.95	57.31	21.52	218.69	7.5
2021	19.13	55.24	20.87	222.36	7.3

1.2 试验设计

以当地主栽品种‘新冬 18’为试验材料, 设 0 (N0)、80 (N80)、160 (N160)、240 (N240)、320 (N320) kg/hm² 5 个施氮水平。每个处理重复 3 次, 小区面积 36 m² (3.6 m × 10 m), 每个小区随机排列。年际间, 小麦播种日期均为 9 月 25 日, 15 cm 等行距条播方式, 播种量为 300 kg/hm²。播种前, 每个小区施 70% N (尿素, N 46.4%)、37.5 kg/hm² K₂O (硫酸钾, K₂O 52%) 和 105 kg/hm² P₂O₅ (过磷酸钙, P₂O₅ 12%) 作基肥, 剩余肥料随水滴施。其他田间管理措施等同当地水平。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 植株地上部生物量

在小麦返青期 (S1)、拔节期 (S2)、孕穗期 (S3)、开花期 (S4)、灌浆期 (S5) 及成熟期 (S6) 分别选取 50 株植株, 去除根部, 分叶片、茎秆、穗、籽粒置于烘箱, 105℃ 杀青 30 min, 80℃ 烘干至恒重并称重, 各器官总重即为植株地上部生物量。

1.3.2 植株氮浓度

将称重后的各器官干物质粉碎后过 0.25 mm 筛, 采用 H₂SO₄-H₂O₂ 法消煮, 凯氏定氮仪 (中国, 海能 K9840) 测定各器官氮含量, 根据以下公式计算植株氮浓度。

各器官氮积累量 (kg/hm²) = 各器官氮含量 (%) × 各器官干物质重 (kg/hm²)

植株氮浓度 (%) = 植株氮积累量 (kg/hm²) / 植株干物质重 (kg/hm²) × 100

其中, 植株氮积累量指各器官氮积累量的总和。

1.3.3 产量及相对产量

在小麦成熟期, 每小区选取 3 m² (1.5 m × 2 m) 单独收获, 脱粒后风干称重。相对产量记为各处理的产量与产量最大值的比值。

1.3.4 临界氮浓度稀释曲线的建立及氮营养指数

根据 Justes 等^[19] 和 Lemaire 等^[6] 提出的临界氮浓度定义及其模型构建, 具体步骤如下: (1) 确定氮

限制组和非氮限制组: 对各生育时期处理间植株生物量进行方差分析, 根据方差分析结果, 将植株生物量随施氮量增加而显著增加的氮处理组记为氮限制组, 植株生物量随氮肥增施并没有显著增加的氮处理组记为非氮限制组。(2) 线性拟合: 对氮限制组的植株生物量与对应的植株氮浓度进行线性拟合。(3) 计算最大生物量: 对非氮限制组的植株生物量求取均值, 记为最大生物量。(4) 计算临界氮浓度值: 线性方程与最大生物量交点的纵坐标即为临界氮浓度值。(5) 构建临界氮浓度稀释曲线: 根据以下公式, 对每次取样时期的临界氮浓度值进行拟合。

$$N_c = aDM^{-b}$$

式中, N_c 表示临界氮浓度值 (%); DM 表示最大生物量 (t/hm²); a 、 b 为模型参数。

Lemaire 等^[6] 提出: 将各时期植株氮浓度实测值与临界氮浓度值做比值, 即可获得每个采样时期的氮营养指数 (NNI)。

$$NNI = N_a / N_c$$

NNI=1, 表示植株氮适量; NNI<1, 表示植株氮不足; NNI>1, 表示植株氮过剩。

1.3.5 临界氮稀释曲线的检验

采用国际通用的模型检验指标, 均方根误差 (RMSE) 和标准化均方根误差 (n-RMSE) 验证模型精度^[19]。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_i - S_i)^2} \quad (1)$$

$$n - RMSE (\%) = \frac{RMSE}{A} \times 100 \quad (2)$$

式中, M_i 、 S_i 分别为临界氮浓度的实测值、模拟值; n 为样本数; A 为实测值均值。依据 Jamieson 等^[20] 提出的模型稳定性划分标准, n-RMSE<10%, 模型稳定性极好; 10% ≤ n-RMSE<20%, 模型稳定性较好; 20% ≤ n-RMSE<30%, 模型稳定性一般; n-RMSE>30% 时, 模型稳定性较差。

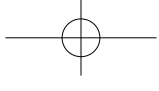
1.4 数据分析

采用 Excel 2020 和 SPSS 20.0 对数据进行整理和方差分析 (Duncan 法, $P<0.05$); Origin 2020 进行曲线拟合及绘图。本文以 2020 年试验数据构建模型, 2021 年试验数据进行模型验证。

2 结果与分析

2.1 小麦生物量及氮浓度变化

随小麦生育进程的推进, 植株生物量增加



(图1)。返青期,植株生物量最低(1.50 t/hm^2 ,两年均值,下同),处理间差异较小;至拔节期,不同施氮量的植株生物量差异明显增大;成熟期,植株生物量达到最大(16.58 t/hm^2)。年际间,同一生育时期,小麦生物量随施氮量的增加而增加。当施氮量从0增加到 240 kg/hm^2 时,植株生物量显著

增加,但当施氮量从240增加到 320 kg/hm^2 时,植株生物量没有显著增加。至成熟期,N80、N160、N240、N320的植株生物量较N0处理分别增加15.94%、38.60%、55.69%、58.74%。对比分析小麦全生育时期各施氮量的植株生物量变化,整体表现为 $\text{N0} < \text{N80} < \text{N160} < \text{N240} \approx \text{N320}$ 。

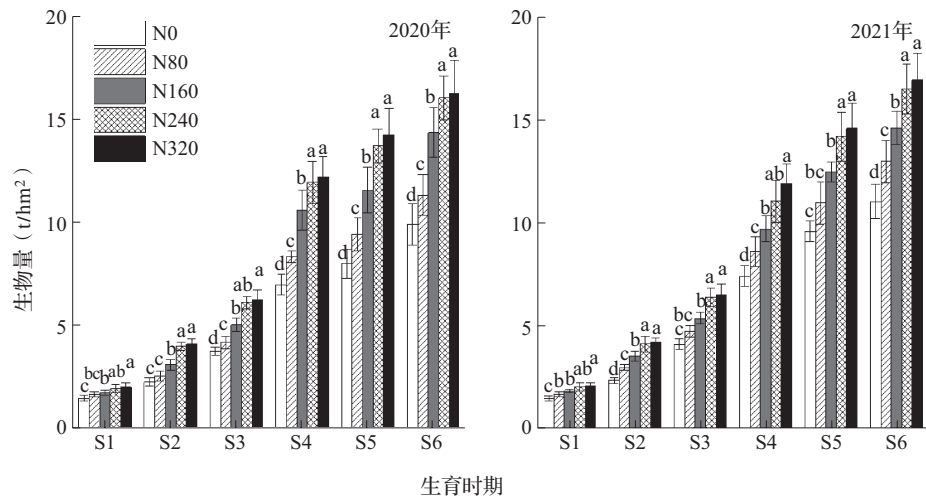


图1 不同生育时期各施氮处理的冬小麦地上部生物量

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

植株氮浓度随小麦生育进程的推进呈下降趋势(图2)。年际间,同一生育时期,植株氮浓度随施氮量的增加而增加,但当施氮量从240增加到 320 kg/hm^2 时,植株氮浓度趋于稳定。这是由于植株对氮素的吸收积累能力有限,当植株体内的氮浓度到达一定限度时,随施氮量的增加,植株氮浓度并不会随之增加,而是趋于稳定水平,说明植株对氮素的吸收存在临界值。

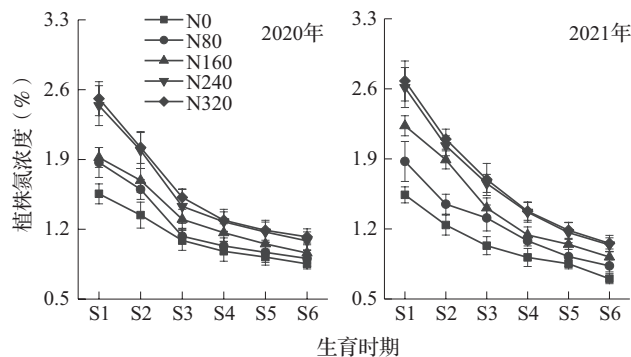


图2 不同施氮量下冬小麦地上部生物量氮浓度的变化

2.2 产量效应分析

与各施氮量间植株生物量变化规律相似,小麦产量随施氮量的增加(当施氮量从0增加到

240 kg/hm^2)而显著增加,但当施氮量从240增加到 320 kg/hm^2 时,小麦增产幅度减小1.99%(图3)。施氮量与产量的拟合曲线表明,当施氮量超过一定量后会导致减产。

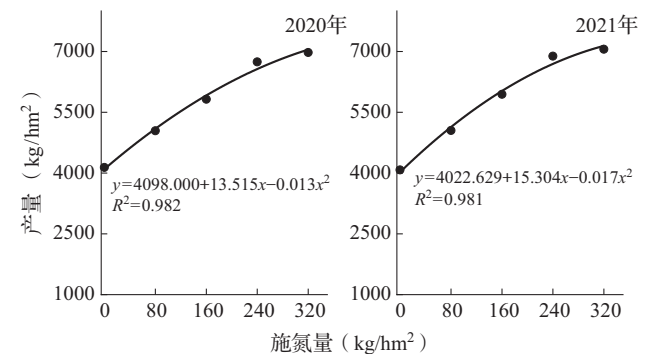
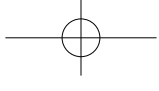


图3 施氮量对滴灌冬小麦产量的影响

图1和图3表明,植株地上部生物量和产量均受氮素水平影响,在一定施氮量范围内,植株生物量和产量均随施氮量的增加而增加,但当施氮量到达一定水平后,增施氮肥不利于植株生物量和产量形成,说明适宜的施氮量有利于植株生物量和产量的形成。可见,植株生育期内存在临界需氮量。



2.3 临界氮浓度稀释曲线构建及检验

根据 Justes 等^[19]提出的临界氮浓度定义和植株生物量随施氮量增加的变化规律,分别得到氮限制组(N0、N80、N160)和非氮限制组(N240、N320)。以2020年各时期植株生物量和植株氮浓度进行拟合,得到每个时期的临界氮浓度,随植株生物量的增加,植株临界氮浓度逐渐下降(图4)。基于植株生物量的临界氮浓度稀释曲线模型表达式为 $N_c=3.088DM^{-0.374}$,方程决定系数 R^2 为0.918,

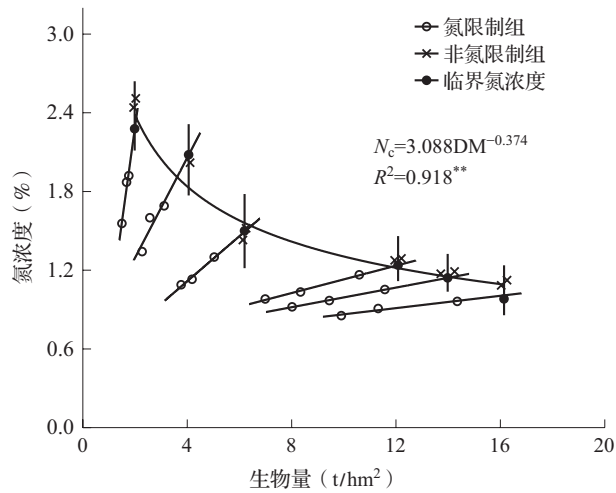


图4 基于地上部生物量的冬小麦临界氮浓度稀释模型

注:**表示0.01水平上差异显著。

达到极显著水平,表明该模型可以很好地表征小麦地上部生物量与植株氮浓度的关系。

为验证该模型的稳定性和可靠性,将2021年各时期植株地上部生物量代入该模型,得到该时期的植株临界氮浓度值(模拟值)。同时,对2021年各时期的植株地上部生物量和植株氮浓度进行拟合,计算出各时期的临界氮浓度(实测值)。从表2可以看出,模型的RMSE为0.15,n-RMSE为8.89%,模型稳定性极好,说明本研究构建的临界氮浓度稀释曲线模型可以用于计算该地区的冬小麦临界氮浓度值。

2.4 氮营养指数及其与相对产量的关系

为进一步明确植株体内氮素亏盈水平,基于植株临界氮浓度,本文计算了2020—2021年不同生育时期各施氮量的植株氮营养指数(图5)。年际间,各施氮处理的冬小麦氮营养指数总体上随施氮量的增加而增加,变化范围为0.57~1.15。N0、N80和N160处理的氮营养指数在全生育期内均显著小于1,说明植株氮浓度偏低,冬小麦生长受氮素限制;N240和N320的氮营养指数在小麦S1、S4、S5、S6生育期较为接近,且均接近1或大于1,说明植株氮浓度偏高,存在氮奢侈消费现象,导致氮素营养过剩,抑制冬小麦生长。由此可见,冬小麦生长的适宜施氮量在160~240 kg/hm²。

表2 临界氮浓度稀释模型的验证

生育时期	实测值(%)	模拟值(%)	误差	均方根误差	标准化均方根误差(%)
S1	2.64	2.40	-0.24	0.15	8.89
S2	2.18	2.12	-0.06		
S3	1.77	1.54	-0.23		
S4	1.34	1.21	-0.13		
S5	1.17	1.16	-0.01		
S6	1.06	0.99	-0.07		

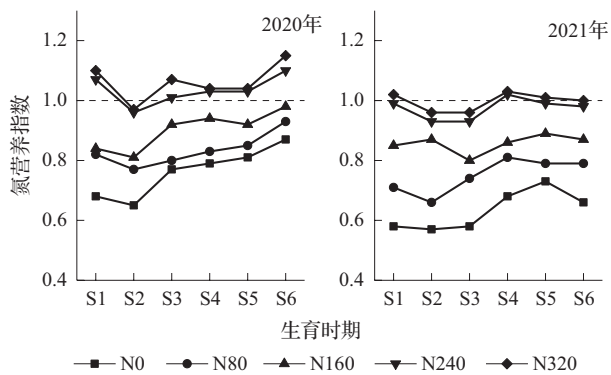


图5 不同施氮量的冬小麦氮营养指数变化

冬小麦全生育时期内,氮营养指数和相对产量的关系表明,在一定范围内,冬小麦相对产量随氮营养指数的增加而增加,但超过一定水平后,相对产量趋于平稳,表明继续提高各时期的植株氮营养指数并不会增加产量(图6)。各生育时期,植株氮营养指数与相对产量的相关性均达到显著水平,其中以S4、S5生育期的相关性最大, R^2 分别为0.846、0.838,说明通过计算该时期的氮营养指数可以有效预测冬小麦产量。

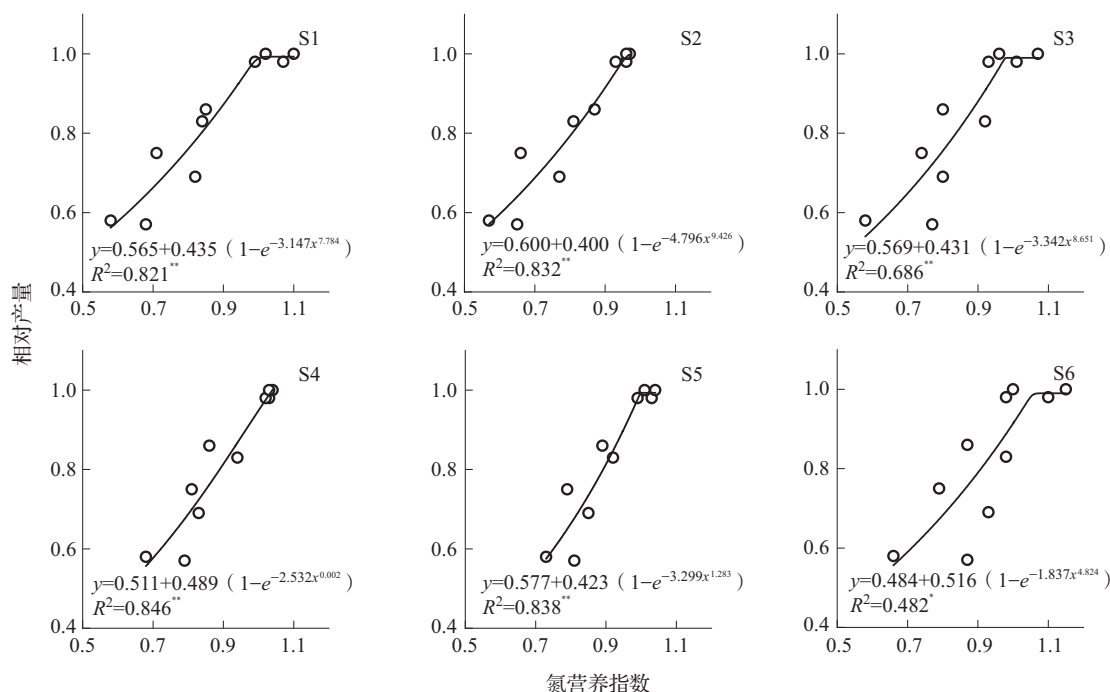


图6 不同生育时期氮营养指数与相对产量的关系

注: *、** 分别表示 0.05、0.01 水平上差异显著。

3 讨论

3.1 冬小麦临界氮浓度稀释曲线模型

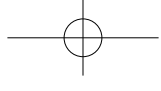
作物临界氮浓度稀释曲线模型自提出以来, Greenwood 等^[7]在 1990 年首先提出适用于 C3、C4 作物的通用模型, 分别是 $N_c=5.17DM^{-0.5}$ 、 $N_c=4.11DM^{-0.5}$; Lemaire 等^[6]通过多个试验平均, 对该模型参数进行修正, 构建了新的模型, 分别为 $N_c=4.8DM^{-0.34}$ 、 $N_c=3.6DM^{-0.34}$, 但受作物种类、品种及生长环境影响, 此模型并不适用于所有的 C3、C4 作物^[4, 8]。如玉米临界氮浓度稀释曲线, 刘朋召等^[21]构建了适用于渭北旱塬春玉米穗期多雨的 $N_c=35.98DM^{-0.35}$, 穗期干旱的 $N_c=35.04DM^{-0.23}$; 付江鹏等^[22]构建的宁夏引黄灌区滴灌玉米 $N_c=35.504DM^{-0.312}$ 。水稻临界氮浓度稀释曲线, 吕茹洁等^[4]构建了杂交稻 $N_c=3.36DM^{-0.31}$, 常规稻 $N_c=2.96DM^{-0.25}$ 。其他作物, 如棉花^[12, 23]、番茄^[24]、烤烟^[14, 25]等的临界氮浓度稀释曲线模型参数在不同地区、不同管理措施及不同品种间均表现不同。类似的, 本研究构建的塔额盆地冬小麦临界氮浓度稀释曲线模型 $N_c=3.088DM^{-0.374}$, 与王晓玲^[26]构建的长江中下游地区冬小麦 $N_c=4.16DM^{-0.41}$ 和岳松华等^[27]构建的豫中地区豫麦 49-198 $N_c=4.01DM^{-0.44}$ 和周麦 16 $N_c=3.76DM^{-0.39}$ 相比, 参数

a、b 均不同, 但都处于较低水平。参数 a 表示植株生物量为 1 t/hm² 时的临界氮浓度值, 表明形成同等生物量, 长江中下游地区和豫中地区需要较高的临界氮浓度, 而新疆塔额盆地需要的临界氮浓度较低, 这可能不仅是氮素水平、土壤供氮能力、品种差异的原因, 还与种植方式密切相关。与长江中下游地区和豫中地区冬小麦种植相比, 新疆冬小麦采用水肥一体化滴灌施肥模式, 遵循“少量多次”原则, 使得土壤氮素受滴灌淋溶, 需要的氮浓度较低。

本研究构建的冬小麦临界氮浓度稀释曲线模型是基于两年, 同一生态地点、单一品种的大田数据, 可以较好地表述地上部生物量与临界氮浓度的关系, 但仍需利用独立的其他生态点、品种、不同的种植密度及水肥处理的试验数据验证该模型精度, 进而完善模型参数, 提高模型的普适性。

3.2 氮营养诊断研究

作物氮营养诊断技术作为氮肥优化管理中的一项关键技术, 已得到广泛研究。该技术主要包括测土配方施肥、叶绿素仪快速诊断、光谱分析、机器视觉及临界氮浓度稀释曲线模型^[3]。其中, 前 4 种方法受其成本及技术手段的限制, 在推广过程中存在一定难度。临界氮浓度稀释曲线模型因其在作物氮营养诊断研究中的稳定性和准确性而广泛应用,



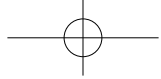
基于临界氮浓度的氮营养指数研究也较多。氮营养指数是植株实际氮浓度与临界氮浓度的比值,不仅可以用于评价氮素营养状况,还能量化作物氮胁迫强度^[28-29]。基于氮营养指数的氮素需求量,在玉米^[10]、水稻^[4]、棉花^[13]等作物上已有研究,且提出的作物适宜施氮量与通过其他方法确定的合理氮肥用量基本一致。但与其他方法相比,基于氮营养指数的研究结果不仅限于得出适宜的施氮量,还可以对不同生育时期的氮营养状况进行诊断。本研究不同时期、各施氮量的氮营养指数变化结果表明,拔节期的氮营养指数均低于1,表明该时期是氮素需求最多的时期,这与李升东等^[30]提出的小麦返青期至抽穗期是氮素需求量最大时期一致。另外,根据冬小麦全生育期内不同施氮量的氮营养指数变化,本研究得出该地区冬小麦最佳需氮量是160~240 kg/hm²,较低于当地日常管理水平(240 kg/hm²)。但有关该地区冬小麦减量施氮的研究尚未见报道,因此,该施氮量是否可以满足当地种植管理水平下的氮肥需求还有待进一步验证。

4 结论

本研究构建并验证了塔额盆地冬小麦‘新冬18’的地上部临界氮浓度稀释曲线模型 $N_c=3.088DM^{-0.374}$,方程决定系数0.918,模型稳定性高,可以作为新疆塔额盆地区域滴灌冬小麦地上部生物量和氮浓度之间的关系模型,较好地预测该地区冬小麦地上部分临界氮含量,评估冬小麦不同生育时期的植株氮营养状况。依据氮营养指数构建的相对产量预测模型能准确解释氮素限制和非氮素限制条件下的相关产量变化,尤其是开花期和灌浆期的相关性最为显著。根据本研究建立的氮营养指数模型,推荐该地区最佳施氮量为160~240 kg/hm²。

参考文献:

- [1] 蔡祖聪, 颜晓元, 朱兆良. 立足于解决高投入条件下的氮污染问题[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(1): 1-6.
- [2] 冯洋, 陈海飞, 胡孝明, 等. 高、中、低产田水稻适宜施氮量和氮肥利用率的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(1): 7-16.
- [3] 贾彪, 付江鹏. 基于临界氮浓度的宁夏玉米氮吸收与亏缺模型研究[J]. 农业机械学报, 2020, 51(1): 256-263.
- [4] 吕茹洁, 高庆银, 陈乐, 等. 基于临界氮浓度的水稻氮素营养诊断研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(5): 1396-1405.
- [5] 庄恒扬, 叶迎, 赵考诚, 等. 作物临界氮浓度稀释模型研究述评[J]. 中国土壤与肥料, 2022(1): 220-229.
- [6] Lemaire G, Gastal F, Salette J. Analysis of the effect of N nutrition on dry matter yield of a sward by reference to potential yield and optimum N content [C]. Proceedings of the 16th International Grassland Congress. Nice, France, 1989: 179-180.
- [7] Greenwood D J, Lemaire G, Gosse G, et al. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass[J]. Annals of Botany, 1990, 66(4): 425-436.
- [8] 王新, 马富裕, 刁明, 等. 滴灌番茄临界氮浓度、氮素吸收和氮营养指数模拟[J]. 农业工程学报, 2013, 29(18): 99-108.
- [9] 付江鹏, 贾彪, 魏雪, 等. 基于冠层覆盖度的玉米植株临界氮浓度模型构建与产量预测[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(10): 1703-1713.
- [10] 陆军胜, 耿晨鸣, 崔晓路, 等. 基于叶面积指数的夏玉米叶片临界氮浓度稀释曲线研究[J]. 农业机械学报, 2021, 52(4): 319-326.
- [11] Yao X, Ata-Ul-Karim S T, Zhu Y, et al. Development of critical nitrogen dilution curve in rice based on leaf dry matter[J]. European Journal of Agronomy, 2014, 55(2): 20-28.
- [12] 马露露, 吕新, 张泽, 等. 基于临界氮浓度的滴灌棉花氮素营养诊断模型研究[J]. 农业机械学报, 2018, 49(2): 277-283.
- [13] 张加康, 李斐, 史树德, 等. 内蒙古地区甜菜临界氮浓度稀释模型的构建及应用[J]. 作物学报, 2022, 48(2): 488-496.
- [14] 何仲秋, 王晓琳, 张启明, 等. 东南烟稻轮作区烤烟临界氮浓度稀释曲线的建立与验证[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(11): 2001-2009.
- [15] 石小虎, 蔡焕杰. 基于叶片 SPAD 估算不同水氮处理下温室番茄氮营养指数[J]. 农业工程学报, 2018, 34(17): 116-126.
- [16] Tei F, Benincasa P, Guiducci M. Critical nitrogen concentration in processing tomato[J]. European Journal of Agronomy, 2002, 18(1): 45-55.
- [17] 张娟娟, 杜盼, 郭建彪, 等. 不同氮效率小麦品种临界氮浓度模型与营养诊断研究[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(11): 1480-1488.
- [18] Zhao Z, Wang E, Wang Z, et al. A reappraisal of the critical nitrogen concentration of wheat and its implications on crop modeling[J]. Field Crops Research, 2014, 164: 65-73.
- [19] Justes E, Mary B, Meynard J M, et al. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops[J]. Annals of Botany, 1994, 74(4): 397-407.
- [20] Jamieson P D, Porter J R, Wilson D R. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand[J]. Field Crops Research, 1991, 27(4): 337-350.



- [21] 刘朋召, 师祖姣, 宁芳, 等. 不同降雨状况下渭北旱地春玉米临界氮稀释曲线与氮素营养诊断[J]. 作物学报, 2020, 46(8): 1225-1237.
- [22] 付江鹏, 贺正, 贾彪, 等. 滴灌玉米临界氮稀释曲线与氮素营养诊断研究[J]. 作物学报, 2020, 46(2): 290-299.
- [23] 王子胜, 金路路, 赵文青, 等. 东北特早熟棉区不同群体棉花氮临界浓度稀释模型的建立初探[J]. 棉花学报, 2012, 24(5): 427-434.
- [24] 杨慧, 曹红霞, 柳美玉, 等. 水氮耦合条件下番茄临界氮浓度模型的建立及氮素营养诊断[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(5): 1234-1242.
- [25] 周方, 席奇亮, 张思琦, 等. 豫中烟区水肥一体化条件下烤烟临界氮浓度稀释曲线与氮素营养诊断研究[J]. 中国烟草学报, 2019, 25(1): 58-66.
- [26] 王晓玲. 长江中下游稻麦两熟区冬小麦植株器官临界氮浓度模型构建及氮素诊断调控研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
- [27] 岳松华, 刘春雨, 黄玉芳, 等. 豫中地区冬小麦临界氮稀释曲线与氮营养指数模型的建立[J]. 作物学报, 2016, 42(6): 909-916.
- [28] 李正鹏, 冯浩, 宋明丹. 关中平原冬小麦临界氮稀释曲线和氮营养指数研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(10): 177-183, 273.
- [29] Qiu Z, Ma F, Li Z, et al. Estimation of nitrogen nutrition index in rice from UAV RGB images coupled with machine learning algorithms[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2021, 189: 106421.
- [30] 李升东, 毕香君, 韩伟, 等. 氮素精准管理对小麦产量和氮素利用的影响[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(2): 195-201.

Nitrogen nutrition diagnosis for drip-irrigated winter wheat in Ta'e basin, Xinjiang

XU Xiang-yang¹, BAI Ru-xiao^{2*}, AI Hai-feng¹, FAN Shou-jie¹, LI Huai-sheng¹, WANG He-ya¹, MENG Ling¹, LIU Yan¹ [1. Institute of Agricultural Sciences (Institute of Animal Science), the Ninth Division, Xinjiang Production and Construction Corps, Tacheng Xinjiang 834601; 2. Xinjiang Academy of Agricultural Reclamation Sciences, Shihezi Xinjiang 832000]

Abstract: To realize the nitrogen (N) nutrition diagnosis for drip-irrigated winter wheat in Ta'e basin and determine the appropriate nitrogen application rate, field experiments during 2020—2021 were conducted. In this study, the variety of 'Xindong 18' was selected, and five N application rates (0, 80, 160, 240 and 320 kg/hm²) were set up. The effect of different N application rates on wheat aboveground biomass and plant N concentration were analyzed, and a critical N concentration model was developed. After then, the N nutrition index (NNI) of winter wheat under different N application rates were calculated, its relationship with relative yield was analyzed, and ultimately the N nutrition status of plant was determined. The results showed that at each growth stage of winter wheat, the difference of plant biomass and N concentration were significant when N application increased from 0 to 240 kg/hm², while it was not significant when N application increased from 240 to 320 kg/hm². The fitted curve between N application rate and yield showed that after a certain amount of N application, increasing N application would reduce the yield of winter wheat, indicating that there was a phenomenon of N extravagance consumption. The critical N concentration model of winter wheat based on aboveground biomass and N concentration was $N_c = 3.088DM^{-0.374}$, the determination coefficient R^2 of the model was 0.918, and the test parameter n-RMSE was 8.89%, which indicted the high stability of the model. The NNI calculated based on the critical N concentration of plant indicated that the suitable N application rate for winter wheat was 160-240 kg/hm². The correlations between NNI and relative yield in each growth stage was significant. In conclusion, the developed critical N concentration model and NNI of winter wheat in Ta'e basin could better diagnose and evaluate the N nutrition of winter wheat.

Key words: drip-irrigated winter wheat; critical nitrogen concentration model; nitrogen nutrition index; nitrogen diagnosis